



OLT
Livorno, Italia

Terminale di Rigassificazione FSRU Toscana

Analisi dei Dati delle 4 Campagne del X° Anno di Monitoraggio (A22, I23, P23, E23) e Modellizzazione del Rumore Sottomarino

Doc. No. P0029592-1-H5 Rev. 0 - Maggio 2024

Rev.	Descrizione	Preparato da	Controllato da	Approvato da	Data
0	Prima Emissione	F. Fossa	A. Giovanetti	M. Compagnino	Maggio 2024

RINA Consulting S.p.A. | Società soggetta a direzione e coordinamento amministrativo e finanziario del socio unico RINA S.p.A.
Via Cecchi, 6 - 16129 GENOVA | P. +39 010 31961 | rinaconsulting@rina.org | www.rina.org
C.F./P. IVA/R.I. Genova N. 03476550102 | Cap. Soc. € 20.000.000,00 i.v.

Tutti i diritti, traduzione inclusa, sono riservati. Nessuna parte di questo documento può essere divulgata a terzi, per scopi diversi da quelli originali, senza il permesso scritto di RINA Consulting S.p.A.

INDICE

LISTA DELLE APPENDICI	1
LISTA DELLE FIGURE	2
LISTA DELLE TABELLE	2
ABBREVIAZIONI E ACRONIMI	3
1 INTRODUZIONE	4
1.1 INQUADRAMENTO GENERALE	4
1.2 ITER STORICO AUTORIZZATIVO	4
2 SCOPO DEL DOCUMENTO	7
3 ATTIVITÀ SVOLTE	8
4 SINTESI DEI RISULTATI	9

LISTA DELLE APPENDICI

Appendice A: Rapporto Tecnico “Monitoraggio Del Rumore Subacqueo Presso Il Terminale FSRU Toscana – Monitoraggio Anno X”

LISTA DELLE FIGURE

Figura 1.1: Ubicazione del Terminale OLT FSRU Toscana 4

LISTA DELLE TABELLE

Tabella 4.1: Distanze corrispondenti alle soglie di impatto comportamentale per i diversi gruppi di mammiferi marini (valori per il 95° percentile) per le campagne eseguite con condizioni meteomarine confrontabili (mare calmo). 11

ABBREVIAZIONI E ACRONIMI

ACCOBAMS	The Agreement on the Conservation of Cetaceans of the Black Sea, Mediterranean Sea and contiguous Atlantic area
ARPAT	Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Toscana
CIBM	Centro Interuniversitario di Biologia Marina
dB	Decibel
FRSU	Floating Regasification Storage Unit
GNL	Gas Naturale Liquefatto
ISPRA	Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale
MATTM	Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare
MONM	Marine Operations Noise Model
MSFD	Marine Strategy Framework Directive
L_P	Livello di Pressione sonora
TL	Transmission Loss

1 INTRODUZIONE

1.1 INQUADRAMENTO GENERALE

Il Terminale di rigassificazione FSRU Toscana della Società OLT Offshore LNG Toscana S.p.A. (di seguito OLT), costituisce una delle principali infrastrutture nazionali per l'importazione del GNL, contribuendo alla diversificazione ed alla sicurezza delle fonti di approvvigionamento del sistema energetico italiano.

Il Terminale è stato realizzato tramite la conversione a FSRU (Floating Storage Regasification Unit) della nave metaniera "Golar Frost", effettuata presso i cantieri navali "Dry Docks Word" di Dubai, ed è arrivato presso il sito individuato per il suo ancoraggio, situato a circa 12 miglia nautiche dalla costa Toscana, il 30 Luglio 2013 (Figura 1.1).

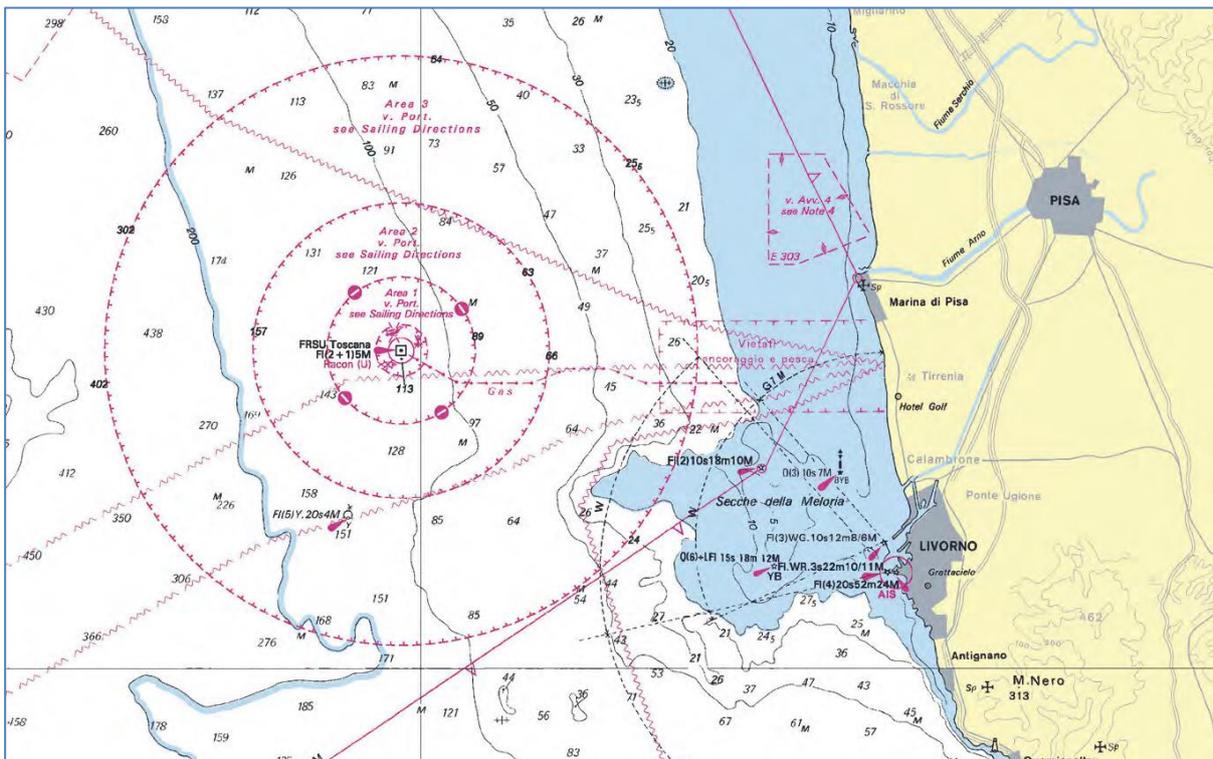


Figura 1.1: Ubicazione del Terminale OLT FSRU Toscana

Le operazioni di avviamento e collaudo dell'impianto hanno permesso di testarlo in diverse condizioni operative e si sono concluse il 20 Dicembre 2013, giorno in cui il Terminale è entrato in esercizio commerciale.

1.2 ITER STORICO AUTORIZZATIVO

Dal punto di vista ambientale OLT ha ottenuto la pronuncia positiva di compatibilità ambientale espressa con Decreto VIA del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM oggi MASE) **No. 1256 del 15 Dicembre 2004**, con parere favorevole della Regione Toscana e di concerto con il Ministero per i Beni e le Attività Culturali, sia per il Terminale di rigassificazione che per il relativo gasdotto di collegamento alla Rete Nazionale dei Gasdotti.

Inoltre, nel 2010, OLT ha presentato istanza di Verifica di Assoggettabilità alla procedura di VIA per alcuni aggiornamenti di carattere progettuale. Tali aggiornamenti progettuali sono stati esclusi dalla procedura di VIA con emissione del Provvedimento Prot. **DVA-2010-0025280 del 20 Ottobre 2010**, a condizione del rispetto di alcune prescrizioni.

In particolare, la Prescrizione No. 7 stabilisce quanto segue:

“In accordo con ISPRA e con costi a carico del proponente, dovranno essere definiti ed attuati, prima dell’arrivo della nave-terminale (per definire l’ante operam) e durante tutto il periodo di funzionamento del terminale, i seguenti monitoraggi in mare con cadenza almeno trimestrale:

[...]

c. *misura del rumore in acqua su due profili perpendicolari dalla distanza di 100 m fino a una distanza di 5 km dal terminale sia durante il funzionamento normale che durante i periodi di massima rumorosità al fine di verificare quanto affermato nello studio ambientale preliminare;*

[...]

Il monitoraggio dovrà estendersi nel tempo fino ad un anno dopo la dismissione del Terminale.”

In ottemperanza alla prescrizione di cui sopra è stato elaborato il Piano di Monitoraggio dell’Ambiente Marino (di seguito “Il Piano”), preparato sulla base di quanto concordato con ISPRA. Il Piano è stato concepito, in ogni sua componente, come uno strumento “flessibile”, ossia prevedendo la possibilità di apportare eventuali modifiche o integrazioni al Piano stesso, in funzione dei risultati acquisiti nella fase iniziale delle attività di monitoraggio.

Con provvedimento **DVA 2012 – 0011592 del 15/05/2012** il MATTM, sulla base del parere favorevole della Commissione VIA No. 907 del 13 Aprile 2012 e di ISPRA, acquisito con prot. CTVA 2012-0001043 del 20/03/2012, ha verificato l’ottemperanza della Prescrizione No. 7 per quanto attiene la definizione del Piano e ne ha decretato l’approvazione.

Con provvedimento **DVA 2013 – 0030107 del 23/12/2013** il MATTM, sulla base del parere favorevole della Commissione VIA n. 4137 del 20 Novembre 2013 e di ISPRA, documento prot. 39481 del 04/10/2013, acquisito con prot. CTVA 2013-3904 del 05/10/2013, ha verificato l’ottemperanza della Prescrizione No. 7 per quanto riguarda l’attuazione dei monitoraggi relativi alla fase *ante operam* (BIANCO) inviati dalla OLT prot. B/0114 del 21/02/2013.

Successivamente sono state realizzate ed inviate all’autorità preposta le campagne di monitoraggio **per i primi 9 anni di esercizio** (dall’Autunno 2013 all’Estate 2022), per ciascuna delle quali è stata **verificata l’ottemperanza della Prescrizione No. 7** per quanto riguarda l’attuazione dei monitoraggi relativi al periodo di funzionamento del Terminale.

Nel corso della verifica di ottemperanza del V° anno di monitoraggio, tuttavia, il MATTM nel decretarne l’ottemperanza (Provvedimento No. 188 del 25 Giugno 2020), ha prescritto che *“Entro un anno solare dalla emissione del presente decreto dovranno essere eseguite, in accordo con la Capitaneria di Porto e ISPRA, delle misure specifiche di rumore per ogni tipologia di nave, durante tutto il periodo di operazioni di arrivo, ormeggio, scarico del GNL e allontanamento delle stesse navi dal Terminale”*.

Inoltre, a corredo della documentazione di ottemperanza per il VI° anno di monitoraggio, il Ministero ha condiviso con OLT le note tecniche di ISPRA e ARPAT relative al monitoraggio della componente rumore sottomarino (rif. VIP_5267) che sono state recepite, laddove possibile, già nel report del 7° anno ed in maniera completa a partire dal report dell’8° anno. Si sottolinea altresì che OLT ha messo in atto le richieste di modifiche nella raccolta dati sul campo contenute nelle citate note tecniche, già a partire dalla campagna della primavera 2021 (P21) dell’8° anno di monitoraggio.

Nel corso del 2021-2022 hanno avuto luogo dei confronti (interlocuzioni) con i tecnici competenti di ISPRA e ARPAT finalizzati a concordare le modifiche da apportare alla metodologia di campionamento ed analisi dei dati sin qui utilizzate per il monitoraggio del rumore sottomarino per allinearle con le migliori pratiche ingegneristiche del settore, le più aggiornate tecniche di modellizzazione del rumore sottomarino, le linee guida aggiornate della letteratura scientifica e con la nomenclatura ISO attualmente in vigore.

Per ottemperare alla prescrizione contenuta nel decreto di ottemperanza relativo alla citata prescrizione 7 per il V anno di monitoraggio del Terminale (**Provvedimento No. 188 del 25 Giugno 2020**), nell’Agosto 2022 OLT ha presentato agli Enti competenti (prot. 2022/OUT/GENER/B/0198) i risultati del monitoraggio del rumore sottomarino durante un allibo eseguito nel mese di Giugno 2022 (Doc. No. P0029592-1-H2 Rev. 0), ottenuti sulla base di una metodologia di campionamento e di analisi dei dati aggiornata, previamente discussa e concordata con ISPRA ed ARPAT.

La Direzione Generale Valutazioni Ambientali del MASE, con **Decreto Direttoriale N. 126 del 02 Marzo 2023** (ID VIP 6049) corredato dal Parere della Commissione Tecnica di Verifica dell’Impatto Ambientale VIA e VAS – Sottocommissione VIA n. 646 del 09 gennaio 2023, ha decretato la modifica della Prescrizione No. 7 che relativamente al monitoraggio del rumore sottomarino, stabilisce quanto segue:

“Per tutto il periodo di funzionamento del terminale dovranno essere effettuati i seguenti monitoraggi in mare con cadenza annuale (tranne dove diversamente specificato):

[...]

c. *misura del rumore in acqua su due profili perpendicolari a 100 m, 1 km e 10 km dal terminale sia durante il funzionamento normale del Terminale (Stand-alone), nel periodo estivo e nel periodo invernale con cadenza triennale, che durante le fasi di allibo (sia per grandi metaniere, sia per metaniere small scale), nel periodo estivo e nel periodo invernale con cadenza annuale per i primi 4 anni, quindi triennale, al fine di verificare quanto affermato nello studio ambientale preliminare;*

[...]

Il monitoraggio dovrà essere effettuato anche un anno dopo la dismissione del Terminale (una campagna estiva, in analogia alla fase ante operam)."

In data **30/06/2023**, l'ISPRA ha inviato ad OLT alcune Osservazioni relative all'analisi della documentazione trasmessa da OLT in merito alla verifica della Prescrizione n. 7 della Determina Direttoriale n. 25280/DVA del 21/10/2010 relativa al IX anno di esercizio del Terminale di rigassificazione FSRU Toscana; il presente documento recepisce ed implementa tali osservazioni.

Oggetto del presente documento è dunque la verifica di ottemperanza della prescrizione No.7 del DVA-2010-0025280 del 20 Ottobre 2010, relativa all'attuazione del piano di monitoraggio annuale ed in particolare per quanto concerne gli aspetti legati al monitoraggio del rumore sottomarino del X° anno di monitoraggio (campagne A22, I23, P23, E23).

Infine, si segnala che nel corso del 2023 OLT ha presentato al MASE, ISPRA ed ARPAT istanza per l'avvio della procedura di verifica di ottemperanza alla condizione ambientale n. 7 contenuta nel provvedimento di verifica di assoggettabilità a VIA Prot. **DVA-2010-0025280 del 20 ottobre 2010** così come modificata dal DEC/VIA No. 450 del 27 dicembre e dal Decreto Direttoriale N. 126 del 02 marzo 2023 (ID VIP 6049), ai sensi dell'art.28 del D. Lgs. 152/2006. Nella verifica di ottemperanza OLT ha presentato un aggiornamento completo del piano di monitoraggio includendo un aggiornamento del piano di monitoraggio del rumore, in modo da tenere di conto di tutte le raccomandazioni di cui sopra. L'ISPRA, con nota acquisita al prot. MASE/193299 del 27/11/2023, ha comunicato che, esaminata la documentazione inviata, ha ritenuto ottemperata la condizione ambientale n.7. Pertanto la Direzione Generale Valutazioni Ambientali del MASE ha comunicato ad OLT in data **04 Dicembre 2023** (ID VIP 9820) l'ottemperanza della condizione ambientale n.7, relativamente alla versione aggiornata del piano di monitoraggio dell'ambiente marino (Doc. No. P0032489-1-H9 Rev.1 - Settembre 2023), che, per quanto riguarda il monitoraggio del rumore sottomarino, della presenza di cetacei e tartarughe marine, a partire dall'XI° anno di monitoraggio verrà attuato con la nuova tecnologia e metodologia presentate (Doc. No. P0032489-1-H9 Rev.1 - Settembre 2023 – Appendice B).

2 SCOPO DEL DOCUMENTO

RINA Consulting S.p.A. è stata incaricata da OLT di analizzare i dati del monitoraggio del rumore sottomarino eseguito in ottemperanza alla Prescrizione Numero 7 del DVA-2010-0025280 del 20 Ottobre 2010, recependo i suggerimenti dettagliati da ISPRA e ARPAT nelle note tecniche emesse a corredo della documentazione di ottemperanza presentata da OLT per il VI° anno di monitoraggio (rif. VIP_5267) e per il IX° anno di monitoraggio (VIP 9819). Si evidenzia che durante il X° anno sono state messe in atto anche le migliorie di acquisizione richieste dall'autorità e riportate nelle citate note tecniche. Si rimanda al Rapporto Tecnico allegato al presente documento (Allegato A) per gli approfondimenti tecnici.

In particolare, il presente rapporto annuale contiene i risultati delle attività di monitoraggio svolte a cura del Centro Interuniversitario di Biologia Marina (CIBM) durante il X° anno di esercizio del Terminale nell'ambito di 4 campagne di indagine condotte dall'Autunno 2022 all'Estate 2023 (A22, I23, P23, E23), in conformità al Piano di Monitoraggio dell'ambiente marino approvato al momento del campionamento (DVA-2012-0011592 del 15/05/12) e delle richieste di ISPRA ed ARPAT.

Per l'esecuzione delle attività di analisi dei dati del monitoraggio e modellizzazione della trasmissione del rumore sottomarino, RINA Consulting si è avvalsa del supporto specialistico di JASCO Applied Sciences (Deutschland) GmbH.

Il presente documento sintetizza i risultati delle attività condotte, per la cui descrizione completa e dettagliata si rimanda al Rapporto Tecnico allegato al presente documento (Allegato A).

3 ATTIVITÀ SVOLTE

L'obiettivo dell'analisi dei dati è stato di stimare i livelli di rumore alla sorgente e i potenziali impatti del rumore sottomarino generato dal Terminale FSRU Toscana sui mammiferi marini.

In particolare, le attività di analisi dei dati sono state condotte secondo la metodologia di seguito sintetizzata:

- ✓ analisi dei dati acustici del monitoraggio tramite piattaforma informatica specifica;
- ✓ calcolo del livello di pressione sonora (L_p) per ogni minuto di dati;
- ✓ stima dei livelli sonori comparati con la distanza dalla sorgente;
- ✓ calcolo dei livelli di sorgente (SL) mediante retro-propagazione del suono ricavato dai livelli ricevuti con il metodo SL.SCA¹
- ✓ modellizzazione per stimare le aree di impatto sui mammiferi marini mediante l'impiego del modello combinato MONM (software proprietario JASCO), adatto alle basse frequenze e Bellhop per alte frequenze;

In questo studio sono state utilizzate le soglie corrispondenti all'impatto da rumore sottomarino di tipo non impulsivo, in quanto il rumore delle attività del rigassificatore e dei mezzi di supporto sono categorizzate come sorgenti acustiche continue (D11C2 della Marine Strategy Framework Directive, MSFD).

Le distanze corrispondenti all'eccedenza del criterio di disturbo comportamentale sono calcolate secondo i limiti presentati nelle Linee Guida ISPRA (Borsani and Farchi 2011²) identificando soglie comportamentali variabili a seconda dei gruppi uditivi come segue:

- ✓ Cetacei di bassa frequenza: L_p 100–110 dB re 1 μ Pa non ponderato;
- ✓ Cetacei di media frequenza: L_p 110–120 dB re 1 μ Pa non ponderato;
- ✓ Cetacei di alta frequenza: L_p 140–150 dB re 1 μ Pa non ponderato³.

In questo studio non sono state calcolate le soglie d'insorgenza di alterazione temporanea della sensibilità uditiva (Temporary Threshold Shift, TTS) o permanente (Permanent Threshold Shift, PTS) per i mammiferi marini, in quanto tali disturbi non sono ammessi dalla normativa italiana. La Direttiva Habitat (Direttiva 92/43/CEE DEL CONSIGLIO del 21 maggio 1992 recepita tramite il Regolamento D.P.R. 8 settembre 1997 n. 357) stabilisce il divieto a perturbare deliberatamente le specie animali inserite nell'Allegato IV – Specie animali e vegetali di interesse comunitario che richiedono una protezione rigorosa (articolo 12.1) (tra le quali, i cetacei). Di conseguenza incrementi di rumore sottomarino che determinino il raggiungimento di livelli tali da causare TTS o PTS non possono essere accettati e i livelli a cui è necessario fare riferimento sono quelli di disturbo comportamentale.

Le distanze di impatto sui mammiferi marini sono state calcolate per ogni stagione con due modalità differenti, in un caso considerando il rumore distribuito su tutte le frequenze fra i 10 Hz e i 25 kHz e in un secondo caso escludendo le frequenze in bande di terzi di ottava al di sotto di 30 Hz, al fine di non considerare i picchi di energia attribuibili molto probabilmente a rumore spurio di flusso dell'idrofono e non ascrivibili direttamente ad una sorgente di rumore del Terminale. Questa considerazione è suffragata inoltre dal confronto dei risultati dell'analisi sui dati campionati durante P22 (Doc. No. P0029592-1-H4 Rev. 0) e a quelli raccolti nei giorni immediatamente precedenti un allibio nel Giugno 2022 (Doc. No. P0029592-1-H2 Rev. 0) ed i cui risultati sono stati presentati da OLT agli Enti competenti nell'Agosto 2022 (prot. 2022/OUT/GENER/B/0198). L'esito del confronto suggerisce che escludere dall'analisi i rumori sulle frequenze inferiori ai 30 Hz possa rappresentare più fedelmente il contributo del rumore sottomarino attribuibile al Terminale FSRU Toscana sull'ambiente circostante.

¹ MacGillivray, A.O., S.B. Martin, Ainslie M.A., Dolman J.N., Li Z., Warner G.A., Lawrence C.B., Pace F., Schuster M., and W. D. 2022. Towards a Standard for Vessel URN Measurement in Shallow Water. Document 02427. Technical report by JASCO Applied Sciences for Transport Canada Innovation Centre.

² Borsani, J.F. and C. Farchi. 2011. Linee guida per lo studio e la regolamentazione del rumore di origine antropica introdotto in mare e nelle acque interne: 2a Parte. 36 pp.

³ Si precisa che nell'area di studio non vi sono specie di cetacei ad alta frequenza considerate regolarmente presenti.

4 SINTESI DEI RISULTATI

Di seguito viene riportata una sintesi dei principali risultati dello studio. Per la descrizione completa si rimanda al Rapporto Tecnico allegato al presente documento (Allegato A).

Il calcolo dei livelli ricevuti ed il confronto inter-stagionale hanno permesso di evidenziare quanto segue:

- ✓ il rumore subacqueo misurato a 10 km dal terminale è risultato dominato da sorgenti di rumore diverse rispetto a quelle potenzialmente prodotte dal terminale, ma situate più in prossimità dell'idrofono rispetto a quest'ultimo, come, ad esempio, navi di passaggio. I livelli di rumore ricevuti misurati a 10 km dal terminale FSRU Toscana sono quindi da escludere dall'analisi modellistica finalizzata alla caratterizzazione delle sorgenti, perché il ricevitore (l'idrofono) è da ritenersi troppo lontano dalla sorgente per consentire di ottenere livelli caratteristici rappresentativi del rumore emesso del terminale;
- ✓ la maggior parte delle registrazioni, indipendentemente dalla stagione, presenta segnali potenzialmente associabili a rumore elettronico del sistema di acquisizione che spesso mascherano il segnale acustico, più debole, dovuto al rigassificatore e alle basse frequenze (sotto i 40 Hz) presentano rumore spurio dovuto al flusso dell'acqua attorno all'idrofono sospeso da un'imbarcazione.

Non essendo possibile stabilire con certezza se i toni di natura potenzialmente associabili a rumore elettronico siano interamente di origine interna al sistema di acquisizione, o se invece includano anche componenti acustiche attribuibili al terminale, nell'analisi dei dati sono state considerate in via conservativa e non eliminate; per le future campagne di monitoraggio si prevede l'utilizzo di sistemi di acquisizione differenti, in linea con la metodologia di attuazione del piano di monitoraggio recentemente presentata da OLT ed approvata dal MASE⁴. Ovvero si prevede l'utilizzo di registratori autonomi fissi posizionati sul fondo che permetteranno, tra l'altro, di eliminare le componenti spurie del rumore di flusso alle basse frequenze più facilmente riscontrabili nei registri acustici acquisiti con idrofoni calati da un'imbarcazione.

Le risultanze delle attività di modellizzazione e caratterizzazione del rumore delle sorgenti hanno quindi permesso di evidenziare quanto segue:

- ✓ tutte le sorgenti riscontrate nel corso dei monitoraggi sono di tipo continuo. In particolare, per quanto concerne il Descrittore 11 Criterio 2 (D11C2) della MSFD, ovvero per l'analisi della propagazione del rumore alle frequenze di 63 e 125 Hz:
 - i livelli L_p mediani misurati per la banda in terzo d'ottava incentrata a 63 Hz per intervallo temporale di 1 secondo di pressione sonora e ricevuti da un ipotetico recettore posto ad una distanza di circa 100 metri dal Terminale sono risultati compresi tra i 92,3 (E23) e i 120,5 (P23) dB re 1 μ Pa ad entrambe le profondità di campionamento (8 m e 55 m dalla superficie),
 - i livelli L_p mediani misurati per la banda in terzo d'ottava incentrata a 63 Hz per intervallo temporale di 1 secondo di pressione sonora e ricevuti da un ipotetico recettore posto ad una distanza di circa 1000 metri dal Terminale sono risultati compresi tra i 91,0 (E23) e i 127,2 (P23) dB re 1 μ Pa ad entrambe le profondità di campionamento,
 - i livelli L_p mediani misurati per la banda in terzo d'ottava incentrata a 125 Hz per intervallo temporale di 1 secondo di pressione sonora e ricevuti da un ipotetico recettore posto ad una distanza di circa 100 metri dal Terminale sono risultati compresi tra i 96,8 (E23) e i 131,4 (P23) dB re 1 μ Pa ad entrambe le profondità di campionamento,
 - i livelli L_p mediani misurati per la banda in terzo d'ottava incentrata a 125 Hz per intervallo temporale di 1 secondo di pressione sonora e ricevuti da un ipotetico recettore posto ad una distanza di circa 1000 metri dal Terminale sono risultati compresi tra i 95,7 (E23) e i 127,3 (P23) dB re 1 μ Pa ad entrambe le profondità di campionamento;
- ✓ la propagazione del rumore avviene in una direzione preferenziale, cioè verso Ovest, seguendo la batimetria crescente dell'area;
- ✓ avvicinandosi alla costa i risultati evidenziano una diminuzione rapida della distanza di propagazione del rumore, in linea con il decremento della profondità. Inoltre, l'isola di Gorgona, ubicata a Sud-Ovest del terminale FSRU Toscana, rappresenta una barriera naturale alla propagazione del rumore a maggiori distanze in tale direzione.

Le distanze di impatto sui mammiferi marini che possano essere presenti nell'area sono state calcolate per ogni stagione per due casi: il primo includendo tutte le frequenze fra i 10 Hz e i 25 kHz e il secondo escludendo le *****

⁴ Doc. No. P0032489-1-H9 Rev.1 – Settembre 2023 – Appendice B, approvato il **04 Dicembre 2023** (ID VIP 9820) dal MASE

frequenze in bande di terzi di ottava al di sotto di 30 Hz, per escludere picchi di energia dovuti a rumore spurio di flusso dell'idrofono. Si ritiene dunque che i secondi valori rappresentino più fedelmente l'impatto del rumore associabile a FSRU Toscana, come evidenziato anche dall'analisi dei registrati direttamente dalla JASCO nel giugno 2022 con strumenti stazionari, che non presentano rumore di flusso⁵.

Il calcolo delle distanze di insorgenza del potenziale disturbo comportamentale per i cetacei, ed in particolare per le specie di maggior interesse nell'area del terminale, ovvero i delfinidi, soprattutto, ed in misura minore le balenottere, valutato nel X anno di monitoraggio, ha evidenziato quanto segue:

- ✓ la stagione che presenta le distanze di potenziale impatto comportamentale sensibilmente maggiori è A22, sebbene non si riscontrino particolari differenze operative del Terminale rispetto alle altre stagioni, ma caratterizzata da raccolta dati effettuata con condizioni meteomarine notevolmente peggiorative rispetto alle altre;
- ✓ la stagione che presenta le distanze di potenziale impatto comportamentale minori è E23. Si evidenzia che il calcolo dei livelli ricevuti in tale campagna ha prodotto risultati inferiori rispetto alle altre campagne del X anno, nonché degli anni precedenti. Si precisa, tuttavia, che la raccolta dati per E23 è avvenuta nelle medesime condizioni operative del terminale;
- ✓ applicando un filtro a 30 Hz per eliminare i rumori di probabile origine spuria, le distanze stimate di impatto R_{95} , sono risultate comprese fra 9.0 (E23) e 112.5 (A22) km per un valore L_p di 100 dB re 1 μ Pa (valore inferiore della soglia di insorgenza delle prime risposte comportamentali per i cetacei a bassa frequenza), fra 4.7 (E23) e 108.7 km (A22) per un valore L_p di 110 dB re 1 μ Pa (valore inferiore per la soglia comportamentale per i cetacei a media frequenza), e compresi tra 0.2 e 1.6 km per un valore di soglia di L_p di 140 dB re 1 μ Pa (valore soglia per i cetacei ad alta frequenza). Si vedano i dettagli per tutte le campagne del X° anno di monitoraggio nella Tabella 9 del Rapporto Tecnico allegato al presente documento (Allegato A).

Si segnala, inoltre, che la raccolta dati per A22 è stata effettuata con condizioni meteomarine nettamente peggiori rispetto alle altre campagne, con un'altezza d'onda di più di un metro, mentre le altre furono condotte con mare calmo. Non si può dunque escludere che misure acustiche effettuate da una piccola imbarcazione in condizioni di mare mosso siano soggette a maggiore rumore di fondo sia di tipo ambientale, sia dovuto al moto dell'idrofono nella colonna d'acqua, rendendo quindi i risultati per A22 meno affidabili e probabilmente sovrastimando i livelli sonori.

Inoltre, per quanto riguarda i range di impatto di maggior estensione riscontrati nella campagna A22, non sembra che tale significativo aumento rispetto alle altre campagne sia attribuibile ad una differente operatività del terminale o ad una differente metodologia di campionamento, ma piuttosto alle condizioni meteomarine in cui è avvenuta la raccolta dati per quella campagna. La metodologia di raccolta dati è infatti rimasta invariata per tutte e quattro le campagne ed anche per quel che riguarda le condizioni di operatività del terminale, nessuna delle stagioni considerate ha evidenziato differenze nella configurazione tecnica tali da determinare una simile significativa variazione di rumore; anche la quantità di energia prodotta da ciascuna turbina utilizzata in ciascuna campagna (sempre le stesse 3 turbine a vapore delle 4 disponibili) è stata pressoché identica. Ciò non spiega quindi la notevole differenza tra le intensità dei picchi presenti negli spettrogrammi, soprattutto paragonando le stagioni A22 e E23. È dunque verosimile che i livelli di sorgente calcolati includano picchi di frequenze che non sono dovuti alle operazioni del terminale, ma al processo di acquisizione dei dati acustici e che non possono però essere esclusi dall'analisi in quanto concomitanti ad altre frequenze di rilievo. Infatti, l'analisi degli spettrogrammi evidenzia la presenza di toni continui, con 4 o 5 armoniche, associati a rumore di natura elettrica, verosimilmente prodotto dal sistema di acquisizione, che talvolta mascherano le tonalità acustiche prodotte dalle attività dei generatori e delle turbine del terminale. Si ritiene che tale problematica sarà superata nei successivi monitoraggi annuali da svolgersi in linea con la proposta di metodologia aggiornata approvata dagli Enti (Doc. No. P0032489-1-H9 Rev.1 – Settembre 2023 – Appendice B).

La tabella seguente riporta i valori delle distanze minime stimate in base al criterio di soglia di insorgenza delle prime risposte comportamentali per i cetacei per le 3 campagne del X° anno considerate maggiormente attendibili (I23, P23 ed E23), in quanto caratterizzate da una raccolta dati effettuata con condizioni meteomarine simili, con condizioni di mare prevalentemente calmo (che non influenza i dati di acquisizione).

⁵ Doc. No. P0029592-1-H2 Rev. 0 - Agosto 2022 "Caratterizzazione dei Livelli di Sorgente ed Analisi della Propagazione del Rumore Sottomarino durante le Operazioni di Allibo".

Tabella 4.1: Distanze corrispondenti alle soglie di impatto comportamentale per i diversi gruppi di mammiferi marini (valori per il 95° percentile) per le campagne eseguite con condizioni meteomarine confrontabili (mare calmo).

L _p non ponderato (dB re 1 μPa)	I23		P23		E23	
	Mar-23		May-23		Sep-23	
	R95 (km) 10Hz- 25kHz	R95 (km) 30Hz- 25kHz	R95 (km) 10Hz- 25kHz	R95 (km) 30Hz- 25kHz	R95 (km) 10Hz- 25kHz	R95 (km) 30Hz- 25kHz
170	-	-	-	-	-	-
160	-	-	-	-	-	-
150	0.1	0.1	0.1	0.1	-	-
140 ¹	0.3	0.3	0.4	0.4	0.2	0.2
130	1.4	1.2	1.7	1.6	0.6	0.6
120	7.7	5.4	5.0	4.5	1.5	1.5
110 ²	43.6	24.2	15.5	10.9	4.7	4.7
100 ³	133.6	108.9	106.8	68.7	9.0	9.0

In particolare, le distanze per un valore L_p di 110 dB re 1 μPa (valore inferiore per la soglia comportamentale per i cetacei a media frequenza secondo le linee guida Borsani e Farchi, 2011) variano da circa 4.7 km (E23) ad un massimo di 24.2 km (I23) per i cetacei a media frequenza, ovvero i delfinidi, ritenuti le specie più probabili nell'area del terminale. Inoltre, i livelli di rumore ambientale rilevati sono analoghi a quelli riscontrabili in un'area caratterizzata da elevato traffico marittimo, quale quella in cui è ubicato il terminale.

Inoltre, nel valutare le distanze di possibile impatto sui mammiferi marini, si deve tener presente che i livelli compresi fra 100 e 120 dB re 1 μPa L_p sono regolarmente riscontrati nel rumore di fondo per aree molto trafficate come questa zona nel Mediterraneo e che la zona del Nord Tirreno è stata identificata da ACCOBAMS come un hotspot di rumore subacqueo⁶. Sebbene nella letteratura non siano stati trovati studi del rumore ambientale per quest'area specifica, un recente studio presentato per il mar Adriatico⁷ ha mostrato che livelli oltre i 120 dB re 1 μPa L_p (10Hz-10 kHz) sono raggiunti nelle medie mensili in zone con traffico navale paragonabile all'area dell'FSRU che è situato fra importanti rotte di navigazione. Un altro studio condotto al largo del nord-est della Corsica⁸ ha riportato livelli di sottofondo che eccedono regolarmente L_p di 100 dB re 1 μPa, e raggiungono L_p di circa 110 dB re 1 μPa nella banda 100Hz-30kHz nel mese di luglio, in presenza di rotte di navigazione la cui densità di traffico è paragonabile a quella delle zone limitrofe al terminale FSRU Toscana.

Pertanto, le distanze di insorgenza delle soglie di impatto acustico comportamentale per i mammiferi marini devono quindi essere valutate e contestualizzate rispetto all'eccedenza dei livelli sonori di fondo presenti nell'area di studio. Per gli ulteriori approfondimenti riguardo i risultati per livelli ricevuti, livelli di sorgente e potenziale impatto sui mammiferi marini si rimanda al Rapporto Tecnico allegato al presente documento (Allegato A).

In conclusione, sulla base dell'analisi dei dati del monitoraggio del X° anno di esercizio, si può confermare che il potenziale disturbo causato dal rumore emesso dal Terminale nella normale fase di esercizio sia da ritenersi di limitata entità. Infatti, in considerazione delle distanze stimate in base al criterio di soglia di insorgenza delle prime risposte comportamentali per i cetacei, ad eccezione dei valori riscontrati nella campagna A22 che presenta valori significativamente più elevati rispetto alle altre, ma verosimilmente meno attendibili rispetto a quelli delle altre campagne, risultano simili a quelli rilevati nel monitoraggio del IX° anno di esercizio del Terminale.

Al fine di monitorare costantemente la presenza di cetacei e tartarughe marine nei pressi del Terminale, OLT ha predisposto nel luglio 2021 un protocollo di avvistamento dedicato. Il monitoraggio effettuato in base a tale protocollo implementato a bordo della nave guardiania LNG Guardian non ha al momento della preparazione del presente documento, riportato alcuna segnalazione riguardo la presenza di cetacei nei pressi del Terminale.

⁶ Maglio, A., G. Pavan, M. Castellote, and S. Frey. 2016. Overview of the Noise Hotspots in the ACCOBAMS Area, Part I - Mediterranean Sea.

⁷ Sertlek, H.Ö. 2021. Hindcasting Soundscapes before and during the COVID-19 Pandemic in Selected Areas of the North Sea and the Adriatic Sea. 9(7): 702. <https://www.mdpi.com/2077-1312/9/7/702>.

⁸ Magnier, C. and C. Gervaise. 2020. Acoustic and photographic monitoring of coastal maritime traffic: Influence on the soundscape. 147(6): 3749-3757. <https://asa.scitation.org/doi/abs/10.1121/10.0001321>.



Appendice A:
**Rapporto Tecnico “Monitoraggio Del Rumore
Subacqueo Presso Il Terminale FSRU Toscana –
Monitoraggio Anno X”**

Monitoraggio del Rumore Subacqueo presso il Terminale FSRU Toscana

Monitoraggio Anno X

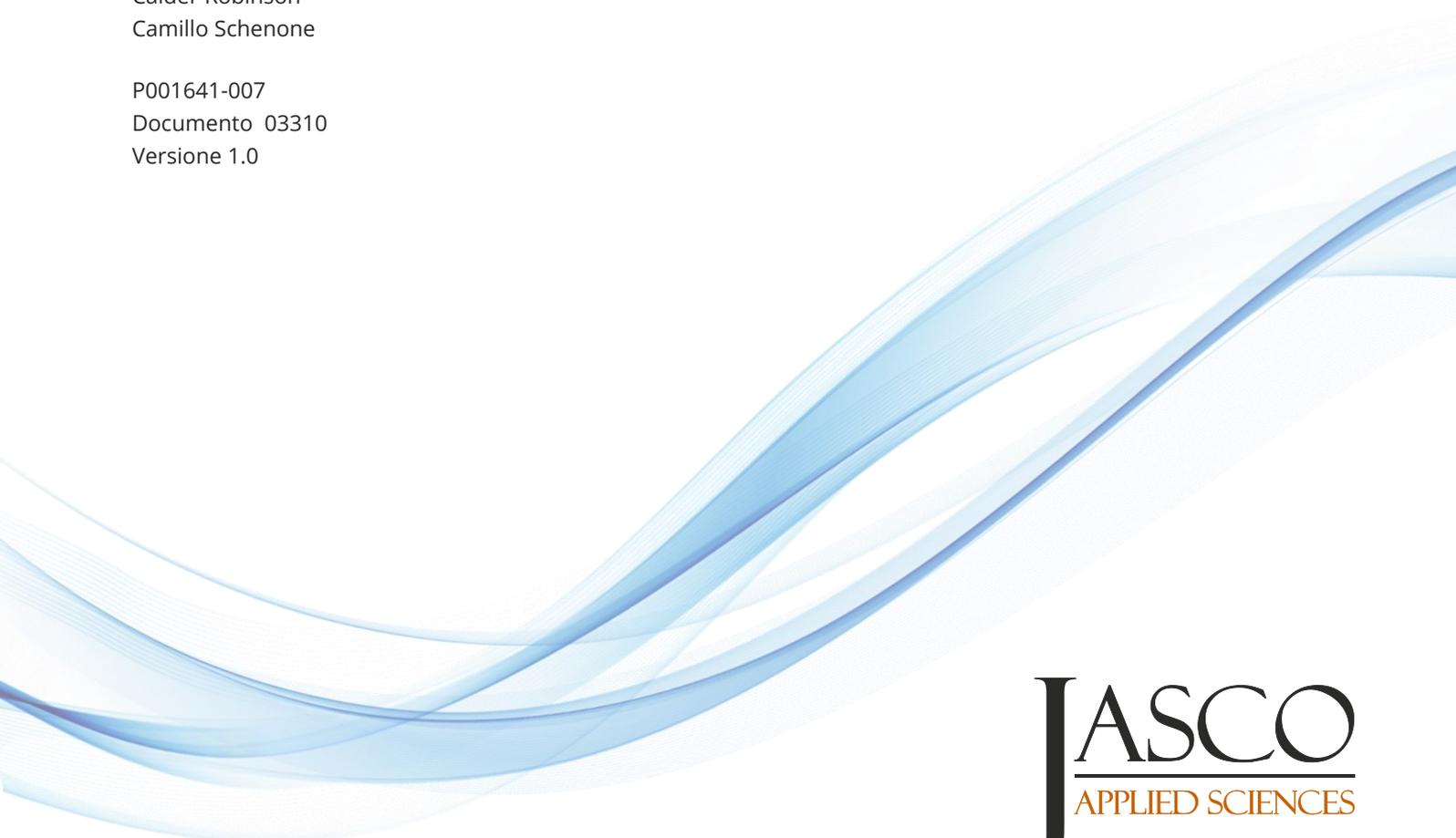
JASCO Applied Sciences (Deutschland) GmbH

28 maggio 2024

Autori

Federica Pace
Federico Campo
Calder Robinson
Camillo Schenone

P001641-007
Documento 03310
Versione 1.0



JASCO
APPLIED SCIENCES

Citazione suggerita:

Pace F., Campo F., Robinson C., Schenone C. 2024. **Monitoraggio del Rumore Subacqueo presso il Terminale FSRU Toscana: Monitoraggio Anno X.** Documento 03310, Versione 1.0.
Relazione tecnica della JASCO Applied Sciences. CONFIDENZIALE

I risultati qui presentati sono rilevanti all'interno del contesto specifico descritto in questo rapporto. Potrebbero essere interpretati erroneamente se non considerati alla luce di tutte le informazioni contenute nella presente relazione. Pertanto, qualora le informazioni derivanti dalla presente relazione siano utilizzate in documenti diffusi al pubblico o ad organismi di regolamentazione, tali documenti dovranno citare chiaramente la relazione originale, che sarà resa prontamente disponibile ai destinatari in forma integrale e inedita.

Contenuti

Sommario Esecutivo	6
1. Introduzione	8
1.1. Criteri per la valutazione degli impatti sui mammiferi marini	9
1.1.1. Soglie e funzioni di ponderazione uditiva dei mammiferi marini	9
1.2. Rumore ambientale di fondo	10
2. Metodi	12
2.1. Acquisizione dei dati acustici.....	12
2.1.1. Apparecchiatura di registrazione	12
2.1.2. Stazioni di campionamento.....	13
2.2. Analisi dei dati manuale.....	15
2.3. Analisi dei dati automatizzata.....	15
2.4. Modellizzazione	16
2.4.1. Stima dei livelli di sorgente: retro-propagazione	16
2.4.2. Stima dell'impatto sui mammiferi marini.....	17
3. Dati ambientali	18
3.1.1. Profilo della velocità del suono.....	18
3.1.2. Batimetria	19
3.1.3. Geoacustica	19
4. Risultati	21
4.1. Livelli ricevuti	21
4.1.1. Autunno 2022 (A22)	21
4.1.2. Inverno 2023 (I23).....	23
4.1.3. Primavera 2023 (P23).....	25
4.1.4. Estate 2023 (E23).....	27
4.1.5. Confronto inter-stagionale	29
4.2. Livelli di sorgente	33
4.3. Impatto sui mammiferi marini	36
5. Discussione e conclusioni.....	45
Glossario	47
Letteratura citata.....	56
Appendice A. Terminologia	A-1
Appendice B. Strumenti	B-1
Appendice C. Propagazione del suono.....	C-1
Appendice D. Dettagli monitoraggio.....	D-1
Appendice E. Raggi di impatto massimi.....	E-1
Appendice F. TTS & PTS	F-1

Appendice G. Effetti sulla propagazione del suono nell'ambiente marino..... G-1

Figure

Figura 1. Mappa dell'area circostante al terminal FRSU Toscana.	8
Figura 2. Curve di Wenz che descrivono i livelli di densità spettrale di pressione del suono ambientale marino prodotto da fenomeni meteorologici, vento, attività geologica e navigazione commerciale (adattate da NRC 2003, basate su Wenz 1962).. Le linee spesse indicano i limiti del suono ambientale prevalente.	10
Figura 3. Traffico navale nel Mar Ligure e Tirreno settentrionale durante il 2019	11
Figura 4. Registratore acustico COL.MAR con idrofono SMID GP1280	13
Figura 5. Immagine del catamarano Elianto di CE.T.U.S. da cui è stato effettuato il campionamento.	13
Figura 6. Diagramma che mostra la posizione di FSRU Toscana e le posizioni di monitoraggio corrispondenti alla messa in acqua dell'idrofono all'inizio di ogni campionamento eseguito. Il cerchio indica la posizione teorica a 1km di distanza dal terminale.	14
Figura 7. Esempi di aree insonificate a un certo livello sonoro con le distanze R_{max} e $R_{95\%}$ dimostrate per due scenari differenti: (sinistra) una distribuzione del livello sonoro radialmente simmetrica con piccole sporgenze, per la quale $R_{95\%}$ meglio rappresenta l'area insonificata effettiva; e (destra) una distribuzione di livello sonoro fortemente asimmetrica con lunghe sporgenze, per la quale R_{max} meglio rappresenta le aree insonificate in alcune direzioni. L'azzurro indica le aree insonificate delimitate da $R_{95\%}$; il blu più scuro indica le regioni limitrofe che determinano R_{max}	17
Figura 8. Profilo della velocità del suono misurato per ogni periodo di campionamento e stazione di acquisizione dei dati.	18
Figura 9. Stagione A22: esempi di spettrogrammi (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming) per i dati relativi alla stazione a 100m sud dal terminale FSRU, per le due profondità di monitoraggio 8 e 55 m.	22
Figura 10. Stagione A22: esempi di spettrogrammi (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming) per i dati relativi alla stazione a 1km Sud dal terminale FSRU, che mostrano, in ordine cronologico, le registrazioni di canale a-55m, a-8m, b-55m e b-8m. Le parti nere indicano lacune nei dati durante la manipolazione dell'idrofono per cambiare profondità di monitoraggio.....	23
Figura 11. Stagione I23: esempi di spettrogrammi (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming) per i dati relativi alla stazione a est del terminale FSRU a 100m di distanza e profondità di 8 e 55 metri.	24
Figura 12. Stagione I23: esempi di spettrogrammi (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming) per i dati relativi alla stazione a Ovest del terminale FSRU a 1km di distanza e profondità di 8 e 55 metri.....	25
Figura 13. Stagione P23: spettrogramma (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming) per i dati relativi alla stazione a Ovest del terminale FSRU a 100m di distanza e profondità di 8 e 55 metri.	26
Figura 14. Stagione P23: spettrogramma (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming) per i dati relativi alla stazione a Est del terminale FSRU a 1km di distanza e profondità di 8 e 55 metri.....	27
Figura 15. Stagione E22: spettrogramma (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming) per i dati relativi alla stazione a est del terminale FSRU a 100m di distanza e profondità di 8 e 55m.....	28
Figura 16. Stagione E23: esempi di spettrogrammi (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming) per i dati relativi alla stazione a 1km Est dal terminale FSRU, che mostrano, in ordine cronologico, le registrazioni di canale a-55m, a-8m, b-55m e b-8m.	28

Figura 17. <i>Profondità nominale 8m</i> : Livelli ricevuti di pressione sonora ($L_{P, pk-pk}$) 1min per ogni frequenza (decidecade) misurati alle distanze di 100m, 1km e 10km dalla sorgente nelle diverse direzioni cardinali.....	30
Figura 18. <i>Profondità nominale 55m</i> : Livelli ricevuti di pressione sonora ($L_{P,0-pk}$) 1min per ogni frequenza (decidecade) misurati alle distanze di 100m, 1km e 10km dalla sorgente nelle diverse direzioni cardinali.....	31
Figura 19. Grafico a dispersione dei livelli di sorgente calcolati in bande di decidecadi suddivisi per ogni stagione (A22 in alto a sinistra, I23 in alto a destra, P23 in basso a sinistra, e E23 in basso a destra). Le linee verticali indicano la fascia di portata per gli angoli radenti a 15 e 45 gradi rispettivamente per l'idrofono.....	34
Figura 20. Livelli di sorgente (in bande decidecade) per le diverse stagioni riferite a un metro dalle coordinate del terminale FSRU Toscana utilizzati per la modellizzazione per ottenere le distanze per le soglie d'insorgenza di impatto sui mammiferi marini. I valori rappresentati sono stati ottenuti calcolando il 90° percentile per ciascuna stagione utilizzando entrambe le profondità di acquisizione dei dati.....	35
Figura 21. Diagramma che mostra la distanza (limitata a 10km) lungo la quale le singole bande di frequenza in terzi di ottava si propagano. Queste sono presentate in ordine per ogni stagione: A22 in alto a sinistra, I23 in alto a destra, P23 in basso a sinistra e E23 in basso a destra.	37
Figura 22. Stagione A22 2022-12: Mappa della zona di eccedenza di varie soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini e rispetto al rumore di fondo; risultati ottenuti escludendo le frequenze al di sotto di 30Hz.....	39
Figura 23. Stagione I23 2023-03: Mappa della zona di eccedenza di varie soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini e rispetto al rumore di fondo; risultati ottenuti escludendo le frequenze al di sotto di 30Hz.....	39
Figura 24. Stagione P23 2023-05: Mappa della zona di eccedenza di varie soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini e rispetto al rumore di fondo; risultati ottenuti escludendo le frequenze al di sotto di 30Hz.....	40
Figura 25. Stagione E23 2023-09: Mappa della zona di eccedenza di varie soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini e rispetto al rumore di fondo; risultati ottenuti escludendo le frequenze al di sotto di 30Hz.....	40
Figura 26. Stagione A22 2022-12: Sezione trasversale per la direzione di maggiore propagazione del suono (azimut 270°), includendo tutte le frequenze (in alto) e filtrando le frequenze sotto i 30 Hz (in basso).....	41
Figura 27. Stagione I23 2023-03: Sezione trasversale per la direzione di maggiore propagazione del suono (azimut 270°), includendo tutte le frequenze (in alto) e filtrando le frequenze sotto i 30 Hz (in basso).....	42
Figura 28. Stagione P23 2023-05: Sezione trasversale per la direzione di maggiore propagazione del suono (azimut 20°), includendo tutte le frequenze (in alto) e filtrando le frequenze sotto i 30 Hz (in basso).....	43
Figura 29. Stagione E23 2023-09: Sezione trasversale per la direzione di maggiore propagazione del suono (azimut 270°), includendo tutte le frequenze (in alto) e filtrando le frequenze sotto i 30 Hz (in basso).....	44
Figura 30. Consumo energetico medio a bordo dell'FSRU Toscana durante i giorni di monitoraggio. SW= pompa d'acqua di mare, WI= Wobbe index.....	45
Figura 31. Produzione di energia media per i giorni di monitoraggio registrata a bordo dell'FSRU Toscana per ogni turbina a vapore per il generatore diesel (quest'ultimo è stato attivato solo qualche ora durante I23).	46
Figura A-1. Bande di frequenza di un terzo d'ottava (linee verticali) mostrate su una scala di frequenza lineare e su una scala logaritmica.	A-2

Figura A-2. Livelli di densità spettrale della pressione sonora e i corrispondenti livelli di pressione sonora in banda di 1/3 d'ottava del suono ambientale di esempio mostrati su una scala di frequenza logaritmica. Poichè le bande di 1/3 d'ottava sono più ampie all'aumentare della frequenza, l'LP della banda di 1/3 d'ottava è maggiore dello spettro di potenza.	A-3
Figura A-3. Funzioni di ponderazione uditiva per i gruppi uditivi funzionali dei mammiferi marini come raccomandato da Southall (2019).	A-4
Figura C-1. Rappresentazione degli approcci $N \times 2$ -D e massimo-sulla-profondità.	C-1
Figura C-2. Esempio di una mappa dell'SEL Massimo sulla profondità. SEL per una sorgente non specificata.	C-2

Tabelle

Tabella 1. Lista di specie di cetacei note per essere presenti (o eventualmente presenti) nell'area di studio	9
Tabella 2. Specifiche della nave oggetto di misurazioni in questo studio.	12
Tabella 3. Sommario dei parametri di acquisizione dei dati acustici.	12
Tabella 4. Matrice di utilizzabilità delle registrazioni, ottenuta dalla revisione manuale. Le lettere a) e b) denotano i due periodi da 10 minuti di monitoraggio per ognuna delle stazioni nominali a profondità di 8m (1) e 55m (2).	15
Tabella 5. Profilo geoacustico stimato per il sito modellizzato. All'interno di ogni intervallo di profondità, ogni parametro varia linearmente all'interno dell'intervallo indicato. L'onda di compressione (P) è l'onda primaria. L'onda trasversale (S) è l'onda secondaria.	20
Tabella 6. Produzione di energia a bordo del terminale FSRU toscana durante i giorni di monitoraggio (somma giornaliera).	29
Tabella 7. L_p mediani nella finestra temporale di 1 secondo per la banda larga (20Hz-20kHz) e per le bande in 1/3 ottava incentrate a 63Hz e 125Hz per ogni stagione e profondità di campionamento.	32
Tabella 8. Livelli di sorgente (SL espressi in dB re $\mu\text{Pa}^2 \text{m}^2$) calcolati sulla banda larga (10Hz-25kHz) e per ogni banda 1/3 di ottava per ogni stagione combinando le diverse direzioni cardinali.	35
Tabella 9. Distanze corrispondenti alle soglie di impatto comportamentale per i diversi gruppi di mammiferi marini. I valori riportati solo per il 95° percentile; i raggi massimi sono riportati in Appendice E.	38
Tabella A-1. Parametri per le funzioni di ponderazione uditiva raccomandati da NMFS (2018).	A-4
Tabella D-1. Descrizione delle possibili modalità operative del terminale FSRU Toscana.	D-1
Tabella D-2. Descrizione assetto del terminale FSRU Toscana per ogni giorno di monitoraggio. H=Holding, ZSO=zero send out, and OFF = plant off, tank cold.	D-2
Tabella D-3. Tabella riassuntiva delle date di registrazione e coordinate del ricevitore (idrofono) durante il campionamento. Nell'indicazione della stazione, le lettere all'inizio fanno riferimento ai punti cardinali (E=Est, S=Sud, N=Nord e W=Ovest). La distanza tra Sorgente e ricevitore è stata calcolando utilizzando la formula di Haversine, prendendo come riferimento un raggio medio terrestre di 6371km ed utilizzando come sorgente le coordinate: Lat: 43.6451 N , Lon: 9.98917 E.	D-4

Sommario Esecutivo

La JASCO Applied Sciences (JASCO) è stata incaricata da RINA Consulting (RINA) di analizzare dati di rumore subacqueo acquisiti da terzi (CIBM) per la caratterizzazione del rumore subacqueo emesso dal terminale FSRU Toscana durante la sua regolare attività operativa per il decimo anno di campagne stagionali di misurazione in ottemperanza alle prescrizioni relative al monitoraggio in ambiente marino.

Per determinare il potenziale disturbo comportamentale e danni uditivi del terminale FSRU Toscana sui mammiferi marini, il criterio utilizzato è quello definito da Borsani and Farchi 2011 per il rumore di tipo non impulsivo, in quanto le attività del rigassificatore sono categorizzate come sorgenti acustiche continue (D11C2 della Marine Strategy Framework Directive, MSFD) (Borsani and Farchi 2011, van der Graaf et al. 2012, European Commission 2017).

Le registrazioni effettuate per le campagne di monitoraggio A22, I23, P23 e E23 corrispondono alla condizione del terminale in fase di “holding” che si potrebbe definire di “normale operatività”. Il monitoraggio è stato effettuato a due profondità (8 e 55m), tre distanze (100m, 1km e 10km) e quattro direzioni cardinali dal terminale per le quattro stagioni, utilizzando due canali di registrazione per ciascun punto di misura ma un singolo idrofono. La più recente calibrazione dell'idrofono è stata effettuata in Dicembre 2021.

Le registrazioni sono state analizzate dalla JASCO per ottenere i livelli di pressione sonora (L_p) e derivare i livelli di sorgente (SL) mediante la retro-propagazione del suono utilizzando il metodo SL.SCA (MacGillivray et al. 2022). Il modello di propagazione acustica MONM-Bellhop è stato poi utilizzato per ottenere le distanze di insorgenza di disturbo comportamentale per vari gruppi di mammiferi marini in base a diverse soglie di livello sonoro.

I seguenti segnali caratteristici relativi al funzionamento del terminale FSRU Toscana sono stati individuati nelle registrazioni per A22 e P23:

- Frequenze comprese fra i 250 e i 900 Hz: produzione di corrente alternata (AC) a 50 cicli al secondo (50Hz) comune nei motori a 2 poli e altri motori AC.
- Toni discreti a ~16kHz dovuti al funzionamento delle turbine del terminale.

La stagione A22 presenta distanze d'impatto considerevolmente maggiori delle altre, sebbene non si riscontrino particolari differenze operative del terminale tra le stagioni. Un esame dettagliato del registro della produzione e del consumo di energia a bordo ha rivelato che durante le quattro campagne (A22, I23, P23 e E23) il terminale operava nella stessa modalità e il funzionamento dei macchinari era pressoché identico, con l'utilizzo dei compressori Wobbe index, delle due turbine a vapore minori (3.35MW/h) e di una più grande (10MW/h). Un fattore che contraddistingue la campagna A22 rispetto alle altre sono le condizioni del mare durante l'acquisizione dei dati, con un'altezza d'onda di più di un metro mentre le altre furono condotte a mare calmo. Si può presumere che misure acustiche effettuate da una piccola imbarcazione in mare mosso siano soggette a maggiore rumore di fondo tanto ambientale che dovuto al moto dell'idrofono nella colonna d'acqua, rendendo quindi i risultati meno affidabili e probabilmente sovrastimando i livelli sonori.

Le distanze di impatto sui mammiferi marini potenzialmente presenti nell'area sono state calcolate per ogni stagione in due varianti: la prima includendo tutte le frequenze fra i 10Hz e i 25kHz e la seconda escludendo le frequenze in bande decedecade al di sotto di 30 Hz, per escludere sovrastime di energia acustica causate dal rumore di flusso dell'idrofono. Si ritiene dunque che i secondi valori rappresentino più fedelmente l'impatto del rumore introdotto da FSRU Toscana.

Con l'applicazione del filtro sotto i 30Hz e in base alle linee guida e definizioni di Borsani e Farchi (2011) per il disturbo comportamentale, le distanze di impatto $R_{95\%}$ risultano comprese fra 9km (E23) e 112km (A22) km per L_p di 100 dB re 1 μ Pa (soglia inferiore d'insorgenza per i cetacei a bassa frequenza), fra 4.7km (E23) e 109 km (A22) per L_p di 110 dB re 1 μ Pa (soglia inferiore d'insorgenza

per i cetacei a media frequenza), e entro 1.6 km per L_P di 140 dB re 1 μ Pa (soglia d'insorgenza per i cetacei ad alta frequenza).

Nonostante l'eccedenza delle soglie comportamentali a considerevoli distanze per i mammiferi marini appartenenti ai gruppi uditivi dei cetacei a bassa e media frequenza, va tenuto presente che livelli L_P compresi fra 100 e 120 dB re 1 μ Pa sono regolarmente riscontrati nel rumore di fondo per aree soggette ad intenso traffico navale come la zona nel Mediterraneo dove è ubicato l'FSRU Toscana. Il rumore generato dal terminale si riduce entro relativamente brevi distanze al livello prevalente nell'area, stimato in base a studi di livelli ambientali (es. (Magnier and Gervaise 2020)) effettuati in aree comparabili per densità di traffico marittimo. Le distanze di insorgenza dell'impatto acustico comportamentale per i mammiferi marini devono quindi essere valutate e contestualizzate rispetto all'eccedenza dei livelli sonori di fondo nell'area d'interesse.

1. Introduzione

La JASCO Applied Sciences (JASCO) è stata incaricata da RINA Consulting (RINA) di analizzare dati di rumore subacqueo acquisiti da terzi (CIBM) per la caratterizzazione del rumore subacqueo emesso dal terminale FSRU Toscana durante la sua regolare attività operativa, cioè del terminale in condizioni stand alone (rigassificazione senza la presenza di altre imbarcazioni dedicate alle attività di allibo) durante la fase di “holding”. Le misurazioni sono state condotte durante quattro campagne di monitoraggio da dicembre 2022 a settembre 2023 (chiamate A22, I23, P23, E23), in linea con i requisiti di ottemperanza del piano di monitoraggio dell’ambiente marino approvato dall’autorità di controllo al momento dell’esecuzione delle misure e tenendo in considerazione i commenti ricevuti da ISPRA e ARPAT sulle criticità riscontrate in passato. La presentazione di metodologie e risultati in questo studio è stata adattata in conformità ai commenti alla relazione dell’anno precedente (anno IX).

Il terminale di rigassificazione FSRU Toscana è una delle principali infrastrutture di interesse nazionale per l’importazione del GNL (Gas Naturale Liquefatto). Il terminale galleggiante, a cui navi metaniere attraccano per operazioni di allibo, è permanentemente stazionato a circa 22 km al largo della costa tra Livorno e Pisa (Figura 1), imperniato su una torre ancorata al fondale attraverso la quale si collega ad una condotta sottomarina di distribuzione.

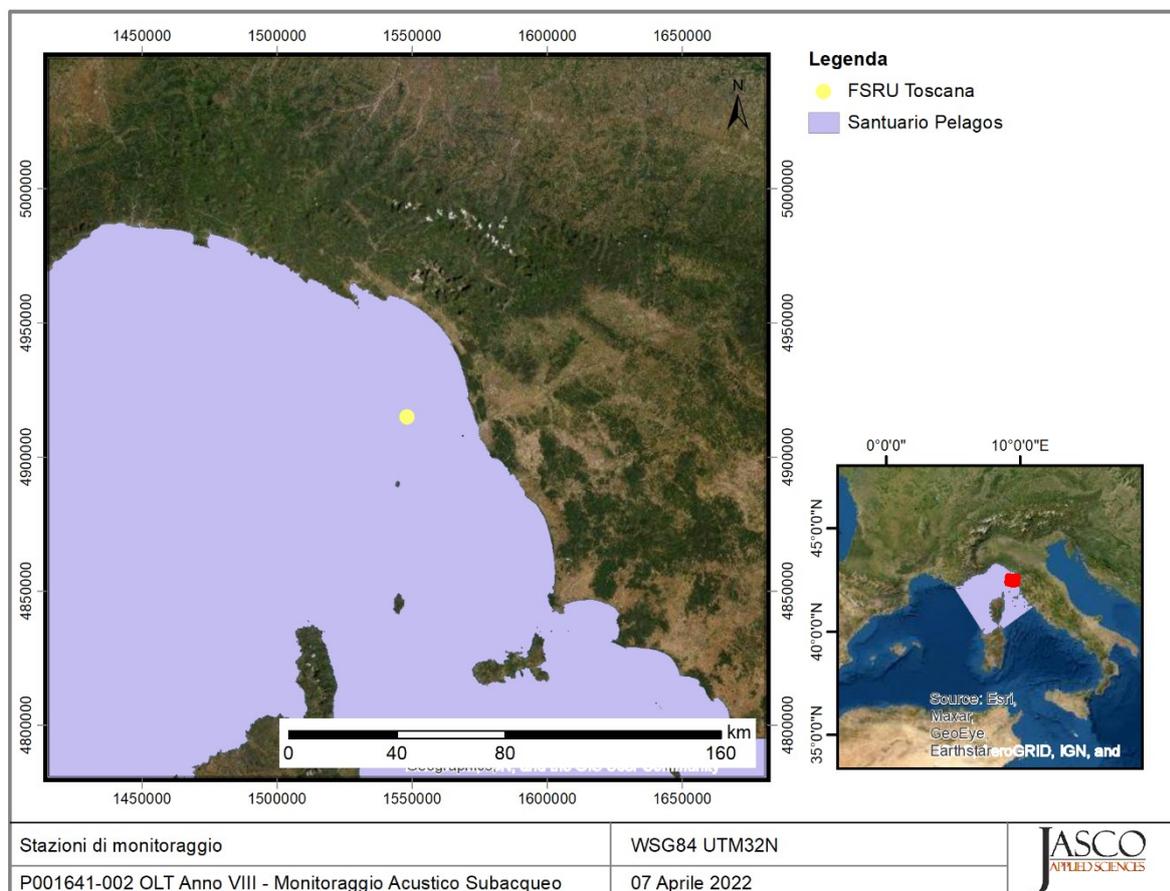


Figura 1. Mappa dell’area circostante al terminal FSRU Toscana.

Lo scopo di questa relazione è di effettuare un’analisi dei dati allineata con le linee guida e legislazioni più recenti concernenti l’impatto delle sorgenti di rumore subacqueo sui mammiferi marini.

1.1. Criteri per la valutazione degli impatti sui mammiferi marini

Lo studio è focalizzato sull'impatto del rumore subacqueo sui mammiferi marini. Il terminale FSRU Toscana è situato nel santuario Pelagos (Figura 1), un'area marina protetta di 87.500 km² istituita nel 2004 per la protezione dei mammiferi marini che lo frequentano. Il [santuario Pelagos](#) è classificato come Area Specialmente Protetta di Interesse (ASPI) nel Mediterraneo (United Nations 2009). In esso si concentrano molti cetacei attratti dalla ricchezza di cibo. In quest'area si possono trovare regolarmente dieci specie di cetacei (Tabella 1) come riportato nel recente studio ASI Med (Panigada et al. 2021).

I mammiferi marini sono i principali contributori biologici al paesaggio sonoro sottomarino. I canti delle balenottere comuni, ad esempio, possono aumentare i livelli di rumore nella banda 18–25 Hz di 15 dB per periodi prolungati (Simon et al. 2010). I mammiferi marini, in particolare i cetacei, si affidano quasi esclusivamente al suono per navigare, cercare cibo, riprodursi e comunicare (Clark 1990, Edds-Walton 1997, Tyack and Clark 2000). Sebbene le specie differiscano ampiamente nel loro comportamento vocale, ci si può ragionevolmente aspettare che la maggior parte produca suoni su base regolare. Il monitoraggio acustico passivo è quindi sempre più preferito come metodo di sondaggio economico ed efficiente. Le differenze nella produzione del suono tanto stagionali che legate al sesso o all'età, come pure la frequenza del segnale, il livello della sorgente e la direzionalità influenzano tutte l'applicabilità e il tasso di successo del monitoraggio acustico; la sua efficacia deve dunque essere considerata separatamente per ciascuna specie.

Tabella 1. Lista di specie di cetacei note per essere presenti (o eventualmente presenti) nell'area di studio e il loro stato di conservazione per la popolazione del mar Mediterraneo. LF= low frequency (bassa frequenza) e MF = medium frequency (media frequenza).

Specie	Nome scientifico	IUCN status	Gruppo uditivo
Misticeti			
Balenottera minore ¹	<i>Balaenoptera acutorostrata</i>	Minima preoccupazione	LF (Borsani and Farchi 2011)
Balenottera comune	<i>Balaenoptera physalus</i>	Vulnerabile	
Odontoceti			
Delfino comune	<i>Delphinus delphis</i>	In via di estinzione	MF (Borsani and Farchi 2011)
Stenella striata	<i>Stenella coeruleoalba</i>	Minima preoccupazione	
Tursiope	<i>Tursiops truncatus</i>	Vulnerabile	
Grampo	<i>Grampus griseus</i>	Dati carenti	
Globicefalo	<i>Globicephala melas</i>	Dati carenti	
Capodoglio	<i>Physeter macrocephalus</i>	In via di estinzione	
Pseudorca	<i>Pseudorca crassidens</i>	Dati carenti	
Zifio	<i>Ziphius cavirostris</i>	Dati carenti	

¹ Rara

1.1.1. Soglie e funzioni di ponderazione uditiva dei mammiferi marini

Per determinare il potenziale disturbo comportamentale e danni uditivi della sorgente sui mammiferi marini, i criteri definiti da Borsani and Farchi 2011 sono stati utilizzati, come suggerito da ISPRA nell'ottemperanza alla relazione sul monitoraggio anno IX.

In questo studio sono utilizzate le soglie corrispondenti all'impatto da suono di tipo non impulsivo, in quanto il rumore delle attività del rigassificatore e dei mezzi di supporto sono categorizzate come

sorgenti acustiche continue (D11C2 della Marine Strategy Framework Directive, MSFD) (Borsani and Farchi 2011, van der Graaf et al. 2012, European Commission 2017).

Le distanze corrispondenti all'eccedenza del criterio di disturbo comportamentale sono calcolate secondo Borsani and Farchi 2011, in cui soglie comportamentali dipendenti dai gruppi uditivi si identificano come segue:

- Cetacei di bassa frequenza: L_P 100–110 dB re 1 μPa non ponderato
- Cetacei di media frequenza: L_P 110–120 dB re 1 μPa non ponderato
- Cetacei di alta frequenza: L_P 140–150 dB re 1 μPa non ponderato

1.2. Rumore ambientale di fondo

I suoni ambientali, o di sottofondo, che creano il paesaggio acustico dell'oceano/mare sono prodotti da molte fonti naturali e antropiche (Figura 2). Le principali sorgenti naturali sono vento, precipitazioni e ghiaccio marino. Il rumore generato dal vento nell'oceano è ben documentato (es., Wenz 1962, Ross 1976), e il suono dei frangenti è noto come importante contributo ai paesaggi sonori vicino alla costa (Deane 2000). Nelle regioni polari, il ghiaccio marino può produrre suoni intensi che sono spesso la componente principale dell'energia acustica nel paesaggio sonoro locale, in particolare durante la formazione e la rottura del ghiaccio. Le precipitazioni sono una consueta fonte di rumore ambientale, contribuendo tipicamente a frequenze superiori a 500 Hz. A basse frequenze (<100 Hz), terremoti e altri eventi geologici contribuiscono al paesaggio sonoro (Figura 2).

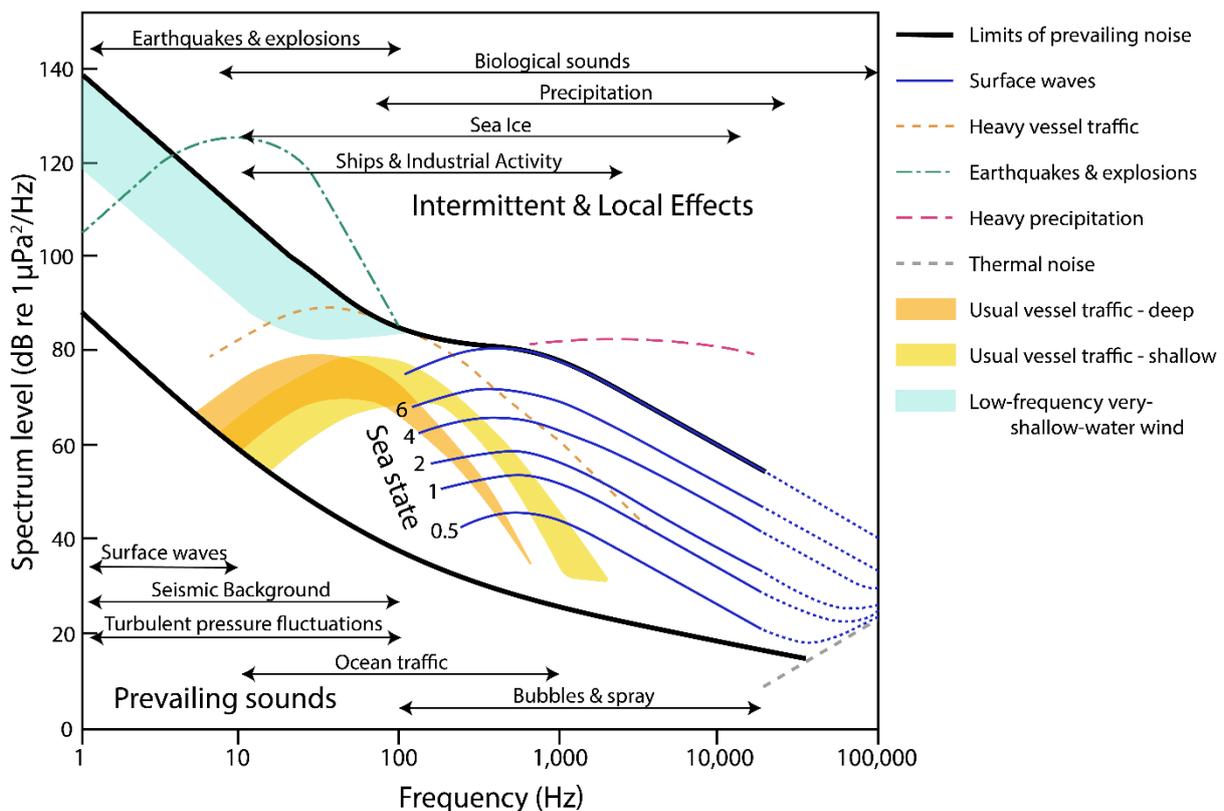


Figura 2. Curve di Wenz che descrivono i livelli di densità spettrale di pressione del suono ambientale marino prodotto da fenomeni meteorologici, vento, attività geologica e navigazione commerciale (adattate da NRC 2003, basate su Wenz 1962).. Le linee spesse indicano i limiti del suono ambientale prevalente.

Relativamente alle sorgenti antropiche nell'area d'interesse è possibile affermare quanto segue: il rumore di fondo nell'area è notevolmente influenzato dal traffico navale, come si evince dalla Figura 3, in quanto ci sono molte importanti rotte di navigazione, in particolare i collegamenti fra il porto di Livorno e i porti della Liguria. Inoltre, alcune aree isolate di traffico marittimo più denso al largo della costa indicano l'ubicazione di potenziali punti dedicati alla pesca (rotte di navigazione battute da pescherecci).

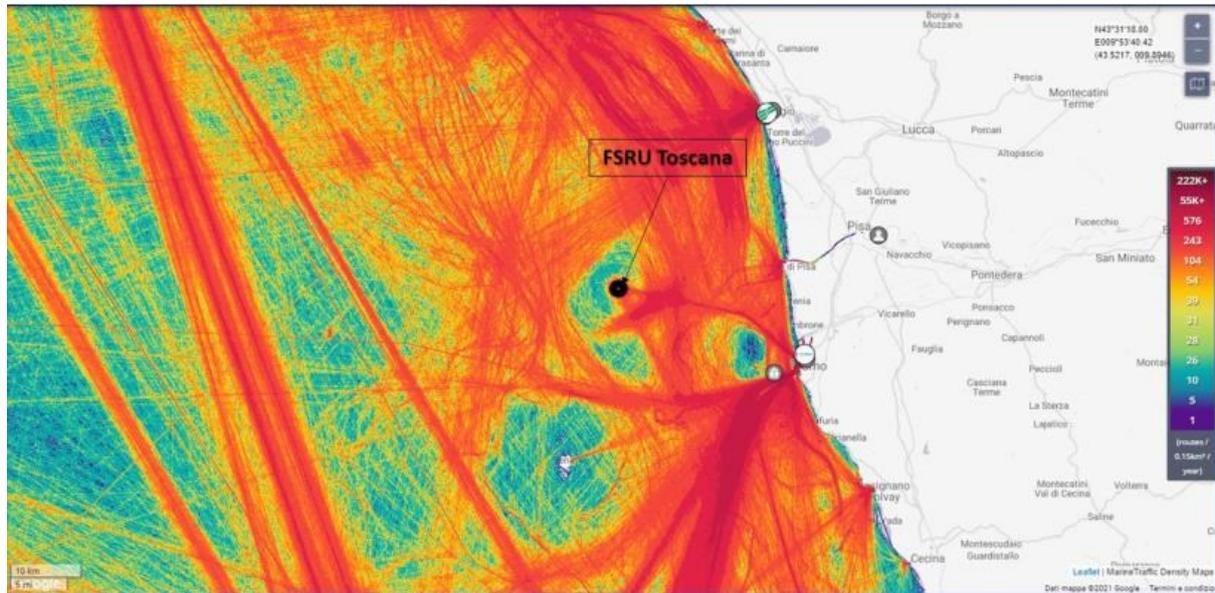


Figura 3. Traffico navale nel Mar Ligure e Tirreno settentrionale durante il 2019 (sorgente: marinetraffic.com; visitato l'8 Ottobre 2021).

2. Metodi

2.1. Acquisizione dei dati acustici

Le caratteristiche del terminale oggetto del monitoraggio sono presentate nella Tabella 2.

L'assetto operativo del terminale per ogni giornata di acquisizione dei dati è presentato nell'Appendice D.1. Le registrazioni sono state effettuate durante la fase di "holding" che si potrebbe definire di "normale operatività" e contempla l'attività di rigassificazione del terminale in assenza di scarico di GNL da nave metaniera.

Tabella 2. Specifiche della nave oggetto di misurazioni in questo studio.

Nave	MMSI	Lunghezza (m)	Larghezza (m)	Pescaggio (m)	Stazza lorda (tonnellate)	Motore	Elica
FSRU Toscana	247323700	306.47	48	12	117916	Non presente	Non presente

2.1.1. Apparecchiatura di registrazione

Il rumore subacqueo è stato registrato da CIBM usando un registratore COL.MAR (Figura 4) collegato ad un idrofono digitale omnidirezionale GP1280. I dettagli sull'acquisizione dei dati per ogni stagione sono riassunti nella Tabella 3. La più recente calibrazione dell'idrofono è stata effettuata nel 2021 presso la COL.MAR per frequenze al di sopra dei 5kHz. Questo idrofono può essere utilizzato insieme a un calibratore portatile che permette la verifica del corretto funzionamento dell'apparecchiatura a bordo. Il calibratore emette un suono a frequenza crescente (sweep) da 100 a 700 Hz di intensità precisamente controllata. I dati relativi alle specifiche tecniche degli strumenti e alla calibrazione sono presentati nell'Appendice B.

Tabella 3. Sommario dei parametri di acquisizione dei dati acustici.

Stagione	Idrofono	Sensibilità (dB re 1 V/ μ Pa)	Riferimento per la calibrazione	Frequenza di campionamento (kHz)	Profondità di campionamento (m)	Durata registrazioni per ogni profondità (min)
A22	COL.MAR GP1280	-165.7	Dic 2021	96	8, 55	10
I23	COL.MAR GP1280	-165.7	Dic 2021	96 ¹	8,55 ²	10 ³
P23	COL.MAR GP1280	-165.7	Dic 2021	96	8,55 ²	10
E23	COL.MAR GP1280	-165.7	Dic 2021	96	8,55 ²	10

¹Alcuni dati registrati a frequenza inferiore

²Alcuni dati registrati a profondità di 45m

³Alcuni dati registrati per una durata di 9 o 20 minuti



Figura 4. Registratore acustico COL.MAR con idrofono SMID GP1280 usato per misurare il rumore sottomarino presso l'FSRU Toscana.

Durante l'analisi dei dati acquisiti, sono stati individuati degli artefatti della strumentazione utilizzata per il campionamento che consistono nella presenza dei seguenti segnali in molte delle registrazioni ottenute:

- Tono interno, discreto e stabile con una spaziatura di 3 kHz.
- Tono a ~965Hz.
- Tono a ~20kHz.
- Tono a 50Hz.

I toni a queste frequenze non sono dunque ascrivibili al funzionamento del FSRU e i corrispondenti picchi nel segnale (incluse le armoniche) non sono stati considerati nell'analisi.

2.1.2. Stazioni di campionamento

L'idrofono è stato calato in acqua dal catamarano "Elianto" (Figura 5) seguendo il calendario di campionamento previsto dal piano di monitoraggio approvato dalle Autorità. Questo prevede l'acquisizione di dati sul rumore subacqueo del terminale quattro volte all'anno, una volta per ogni stagione, a tre distanze dalla sorgente (100m, 1000m e 10 km) e nelle quattro direzioni cardinali (Figura 6). I dati sono stati ottenuti a due profondità (8m e 55m) per ogni punto di acquisizione; le misurazioni a diverse profondità sono effettuate con lo stesso idrofono e quindi in maniera consecutiva l'una all'altra.



Figura 5. Immagine del catamarano Elianto di C.E.T.U.S. da cui è stato effettuato il campionamento.

Le coordinate delle stazioni di campionamento riferite da CIBM sono presentate nella Tabella D-3, come pure i tempi di campionamento. Le posizioni effettive di monitoraggio risultano essere mobili in quanto il catamarano utilizzato per l'acquisizione dei dati era lasciato andare alla deriva seguendo la corrente (causa elevata profondità del fondale). Dunque, le stazioni di campionamento non sono le medesime per ogni stagione e le posizioni di messa in acqua e ritiro dell'idrofono per ogni singola misurazione presentano a volte decine di metri di differenza.

Le distanze fra il terminale e l'idrofono sono state calcolate in base a tali coordinate. Il movimento del ricevitore durante il campionamento è stato considerato nell'analisi assumendo una deriva costante durante la durata del campionamento, dato che tracciati GPS dettagliati non sono stati registrati. Considerato che il campionamento ad ogni stazione è durato 10 minuti, si assume che la deriva costante sia rappresentativa della realtà. Alcuni dati sono stati esclusi dalla stima dei livelli di sorgente in base all'entità della deviazione dalla posizione originale desiderata, come dettagliato nella sezione 2.4.1.

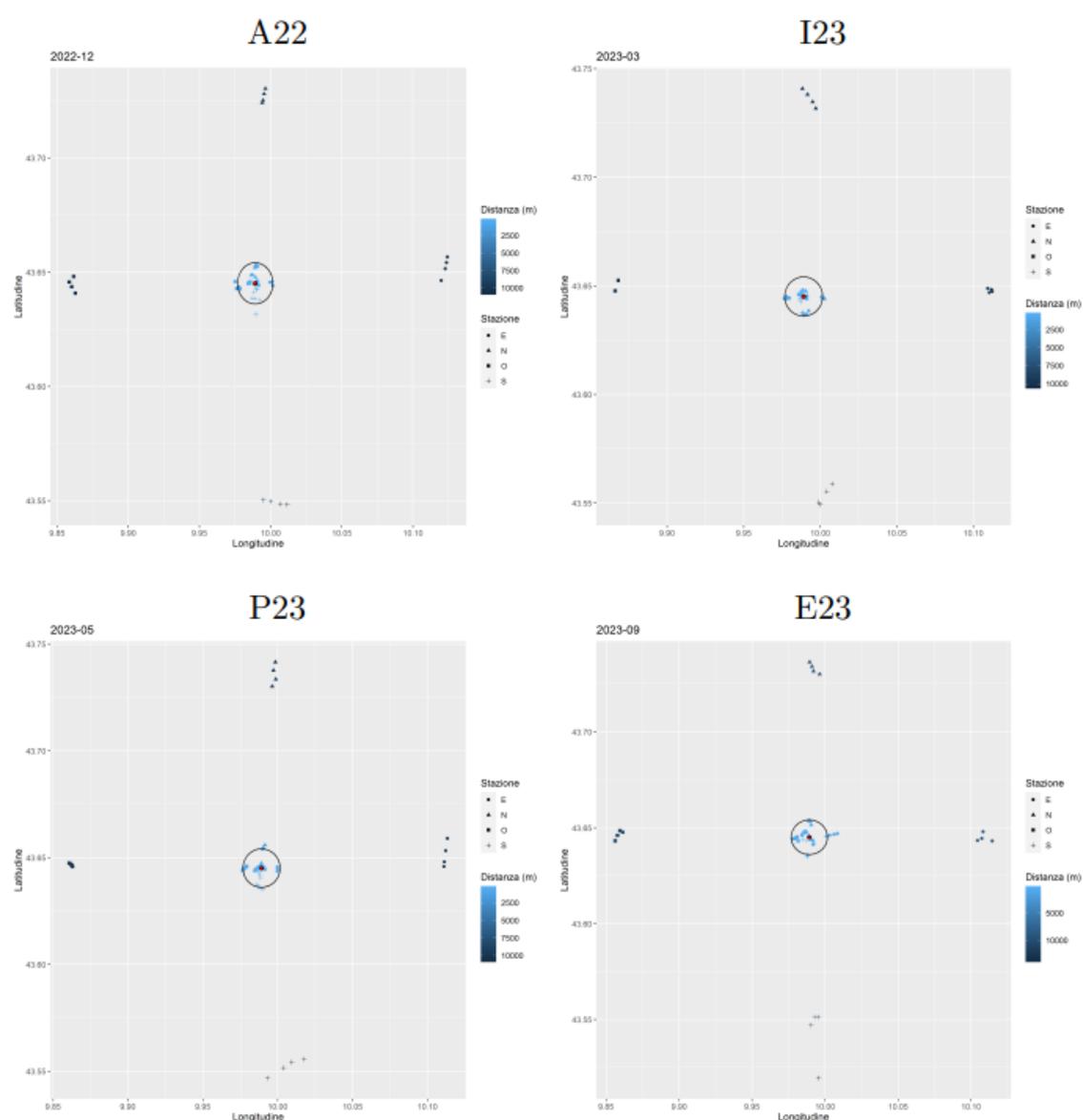


Figura 6. Diagramma che mostra la posizione di FSRU Toscana e le posizioni di monitoraggio corrispondenti alla messa in acqua dell'idrofono all'inizio di ogni campionamento eseguito. Il cerchio indica la posizione teorica a 1km di distanza dal terminale.

2.2. Analisi dei dati manuale

Un'analisi manuale dettagliata è stata condotta al fine di identificare le caratteristiche acustiche principali del terminale e altresì in quanto un controllo sistematico di ogni registrazione fatta a 100m e 1km dal terminale ha evidenziato alcune anomalie. Lo scopo dell'analisi manuale è stato quindi:

- Confermare i toni riscontrati nelle relazioni precedenti e attribuiti a FSRU Toscana
- Caratterizzare i toni identificati nelle registrazioni

L'analisi è consistita nell'investigazione delle registrazioni sia uditiva che visiva tramite spettrogrammi da parte di un esperto in acustica marina specializzato nello studio delle caratteristiche sonore delle navi, utilizzando il software PAMLab (©JASCO).

A seguito del controllo sistematico e dell'analisi manuale, una matrice decisionale è stata sviluppata per scegliere quali dati potessero essere utilizzati per la stima dei livelli di sorgente dell'FSRU, come presentato nella Tabella 4.

Tabella 4. Matrice di utilizzabilità delle registrazioni, ottenuta dalla revisione manuale. Le lettere a) e b) denotano i due periodi da 10 minuti di monitoraggio per ognuna delle stazioni nominali a profondità di 8m (1) e 55m (2).

Stazione	A22		I23		P23		E23		Legenda
E100	a	b	a	b	a	b	a	b	Si
1									No - presenza altre sorgenti nelle vicinanze
2									
E1K	a	b	a	b	a	b	a	b	No - problema registrazione
1									
2									
N100	a	b	a	b	a	b	a	b	
1									
2									
N1K	a	b	a	b	a	b	a	b	
1									
2									
S100	a	b	a	b	a	b	a	b	
1									
2									
S1K	a	b	a	b	a	b	a	b	
1									
2									
W100	a	b	a	b	a	b	a	b	
1									
2									
W1K	a	b	a	b	a	b	a	b	
1									
2									

2.3. Analisi dei dati automatizzata

In parallelo all'analisi manuale, un'analisi automatizzata del rumore totale dell'oceano e delle emissioni sonore del terminale è stata effettuata utilizzando una piattaforma informatica specializzata (PAMLab, ©JASCO), capace di elaborare i dati acustici centinaia di volte più velocemente del tempo reale.

La prima fase dell'analisi dei livelli sonori prevede il calcolo del livello di pressione di picco (PK) e del livello di pressione sonora ($L_{P,0-pk}$) per ogni minuto di dati. Ciò riduce i dati a una dimensione gestibile senza comprometterne la validità per la caratterizzazione del paesaggio acustico (ISO 2017b, Ainslie et al. 2018, Martin et al. 2019). L'analisi $L_{P,0-pk}$ viene eseguita calcolando la media di 120 trasformate di Fourier veloci (FFT) che includono ciascuna 1 s di dati con sovrapposizione del 50% e applicazione della finestra di Hanning per ridurre la dispersione spettrale. I dati medi di 1 minuto sono stati archiviati come densità spettrali di potenza (risoluzione 1 Hz) e sommati in frequenza per calcolare i livelli di banda. I livelli di banda decedecade qui utilizzati in conformità agli standard sono molto simili ai consueti livelli di banda di 1/3 di ottava, che sono descritti nell'appendice A.2.

2.4. Modellizzazione

2.4.1. Stima dei livelli di sorgente: retro-propagazione

Dato che il terminale FSRU non utilizza un sistema propulsivo con associate emissioni acustiche prodotte in predominanza dalle eliche, si può presupporre che il suo rumore si trasmetta principalmente tramite lo scafo; la profondità nominale della sorgente sonora utilizzata nella modellizzazione è stata quindi calcolata come la metà del pescaggio, cioè 6 metri. Combinando i livelli sonori ricevuti ai punti di misura con la modellizzazione delle perdite dovute alla propagazione si ottengono i livelli di sorgente, che sono poi utilizzati per prognosticare l'impatto sui recettori biologici con la modellizzazione verso ogni punto nella regione d'interesse.

La retro-propagazione del livello ricevuto per stimare il livello di rumore irradiato (e per estensione il livello di sorgente) è relativamente facile in condizioni di mare aperto poiché il rumore generalmente segue leggi di diffusione sferica, rappresentate da $20 \cdot \log_{10}(R)$. Tuttavia, questo presupposto perde validità in condizioni di acque poco profonde a causa delle interazioni acustiche con il fondo e i substrati del sottofondo. Per tenere conto degli errori causati dall'interazione del fondale, sono stati sviluppati vari metodi e fattori di correzione per portare la stima della diffusione sferica in linea con il livello della sorgente in acque poco profonde. Il metodo SL.SCA dell'angolo critico del fondale marino (Ainslie et al. 2022) è uno di questi metodi, che include fattori di correzione dipendenti dalla distanza e dalla frequenza sia per l'interazione del fondale marino che per l'assorbimento acustico. Questo metodo, oltre ad essere di più semplice applicazione rispetto a modelli teorici più sofisticati (ad esempio MONM-Bellhop, Appendice C), è risultato essere più accurato per la stima di livelli di sorgente ottenuti da registrazioni effettuate da ricevitori non stazionari, come nel caso dei dati raccolti per questo studio.

In acque poco profonde, anche il suono riflesso dal fondo contribuisce alla pressione sonora ricevuta, che deve essere considerata nella perdita di propagazione. Ciò porta a una versione più generale dell'approssimazione impiegata nella ISO 17208-2 che include un termine per la riflessione del fondale tramite l'angolo critico del fondale, nonché un termine esplicito per l'arrivo diretto:

$$L_{S(SCA)} = L_{RN} - \Delta L_{SCA} + \Delta L_{\alpha} \quad (1)$$

$$\Delta L_{SCA} = 10 \log_{10} \sigma_1 + \frac{\psi}{rH} \sigma_{\psi} \text{ dB} \quad (2)$$

dove r è l'intervallo di inclinazione dalla sorgente al ricevitore e H è la profondità dell'acqua. I termini di correzione per il percorso diretto - interferenza della superficie (σ_1) e il percorso diretto - interferenza del riflesso del fondale marino (σ_{ψ}) sono riportati nelle equazioni 4 e 5.

$$\sigma_1 \approx \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{4\eta \sin^2 \theta} \right)^{-1} ; \eta = k^2 d^2 \quad (3)$$

$$\sigma_{\psi} \approx \left(\frac{1}{2} + \frac{3}{4\eta \sin^2 \psi} \right)^{-1} \quad (4)$$

dove il numero d'onda $k = \frac{2\pi f}{c}$, e la profondità della sorgente $d = 6.5\text{m}$. Questo approccio include il fattore di assorbimento (ΔL_a) descritto da Ainslie and McColm (1998). La derivazione dei vari termini inclusi nel metodo è discussa in dettaglio in (Ainslie et al. 2022, MacGillivray et al. 2022)

2.4.2. Stima dell'impatto sui mammiferi marini

I contorni di soglia del livello sonoro sono calcolati partendo dai campi tridimensionali di livelli acustici stimati dai modelli di propagazione (in questo caso MONM-Bellhop), assegnando ad ogni posizione geografica nella regione d'interesse il livello massimo su tutte le profondità modellizzate. Le distanze a cui livelli specifici vengono raggiunti sono calcolate da questi contorni. Per ogni livello sonoro d'interesse sono riportate due distanze relative alla sorgente: (1) R_{\max} , la portata massima di un certo livello sonoro in qualsiasi direzione, e (2) $R_{95\%}$, la portata di quel livello sonoro dopo che il 5% dei punti più lontani sono stati esclusi (vedi esempi in Figura 7).

L' $R_{95\%}$ viene utilizzato perché i contorni del livello sonoro sono spesso di forma irregolare. In alcuni casi, un contorno potrebbe presentare piccole sporgenze o frange isolate anomale. Ciò è dimostrato nell'esempio a sinistra in Figura 7. In casi come questo, R_{\max} può sovrastimare incorrettamente l'estesa della regione esposta a tali livelli e $R_{95\%}$ è considerato più rappresentativo. Al contrario, in casi di forte asimmetria radiale come mostrato a destra nella Figura 7, $R_{95\%}$ trascura sostanziali sporgenze nella distribuzione del livello sonoro, e R_{\max} può rappresentare meglio la regione di effetto in certe direzioni. Casi come questo sono solitamente associati a proprietà della batimetria che influenzano la propagazione acustica. La differenza tra R_{\max} e $R_{95\%}$ dipende dalla direttività della sorgente e dalla disuniformità spaziale dell'ambiente acustico.

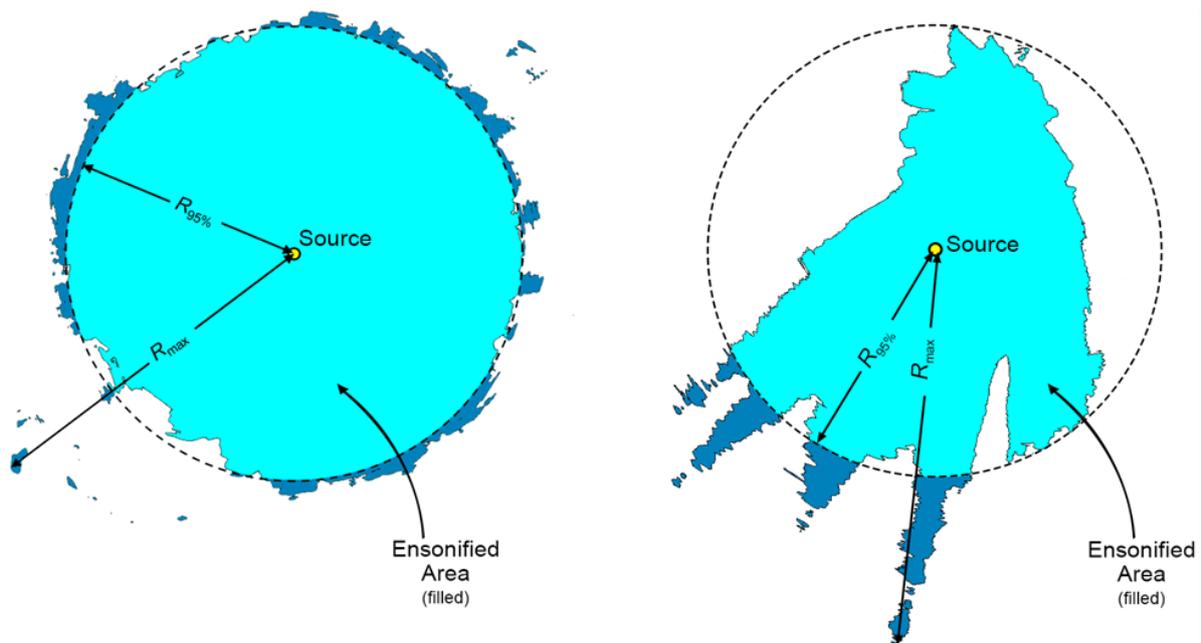


Figura 7. Esempi di aree insonificate a un certo livello sonoro con le distanze R_{\max} e $R_{95\%}$ dimostrate per due scenari differenti: (sinistra) una distribuzione del livello sonoro radialmente simmetrica con piccole sporgenze, per la quale $R_{95\%}$ meglio rappresenta l'area insonificata effettiva; e (destra) una distribuzione di livello sonoro fortemente asimmetrica con lunghe sporgenze, per la quale R_{\max} meglio rappresenta le aree insonificate in alcune direzioni. L'azzurro indica le aree insonificate delimitate da $R_{95\%}$; il blu più scuro indica le regioni limitrofe che determinano R_{\max} .

3. Dati ambientali

Questa sezione dettaglia i dati ambientali che sono stati utilizzati come input per la modellizzazione, sia per la retro-propagazione alla sorgente che per la stima dei raggi di impatto sui mammiferi marini.

3.1.1. Profilo della velocità del suono

La conduttività, temperatura e profondità della colonna d'acqua sono stati misurati con una sonda CTD Ageotech IMSV. Una misurazione CTD è stata condotta per ogni campionamento fino ad una profondità massima di circa 55m (condizione richiesta dall'autorità preposta) (Figura 8).

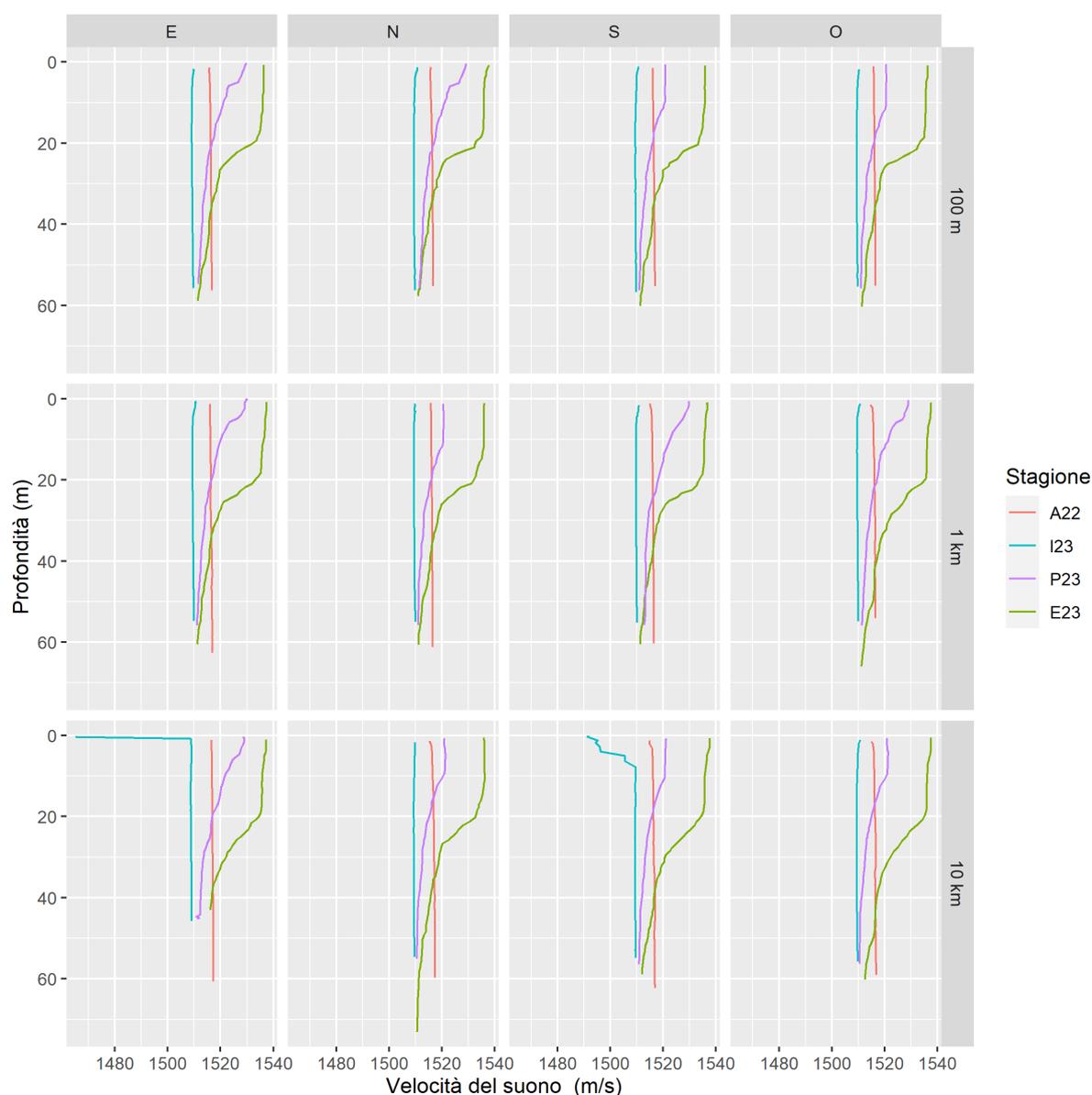


Figura 8. Profilo della velocità del suono misurato per ogni periodo di campionamento e stazione di acquisizione dei dati.

Il profilo di velocità del suono per gli scenari modellizzati è stato derivato sia dai profili misurati dalla campagna di registrazione, sia dai dati storici di osservazione. I dati fino a 55 m sono stati generati sulla base dei dati misurati, mentre oltre questa profondità i dati sono stati integrati utilizzando i profili

di temperatura e salinità del US Naval Oceanographic Office's *Generalized Digital Environmental Model V 3.0* (GDEM; Teague et al. 1990, Carnes 2009). GDEM fornisce una climatologia oceanica mensile di temperatura e salinità per tutti gli oceani del mondo su una griglia latitudine-longitudine con una risoluzione di 0,25°, basata su osservazioni storiche globali del Master Oceanographic Observational Data Set (MOODS) della Marina degli Stati Uniti. I profili climatologici includono 78 punti di profondità fissi fino a una profondità massima di 6800 m (dove l'oceano la raggiunge). I profili di temperatura-salinità GDEM sono stati convertiti in profili di velocità del suono usando la formula di Coppens (1981).

I profili di velocità del suono misurati in loco sono stati interpolati per ricondurli a una serie comune di punti di profondità fino a 55 m, e il valore mediano è stato estratto ad ogni punto di profondità. Un profilo medio composito di velocità del suono è stato quindi derivato dai dati GDEM per i mesi corrispondenti per la posizione 43,50° N, 9.75° E fino a una profondità di 500 m. Questo è stato combinato con i dati per il punto a 43.25° N, 9.25° E per estendere ulteriormente il profilo a 1500 m.

3.1.2. Batimetria

Le profondità dell'acqua in tutta l'area modellizzata sono state estratte dalla griglia batimetrica europea EMODnet (EMODnet Bathymetry Consortium 2020), generata per i bacini marittimi europei con risoluzione di 1/16 d'arco (circa 115 m × 115 m).

I dati di batimetria per un'area di circa 175 × 200 km sono stati estratti e ricampionati, mediante griglia di curvatura minima, su una proiezione di coordinate della zona 32 di Mercatore trasversale universale (UTM) con una spaziatura regolare della griglia di 100 × 100 m.

3.1.3. Geoacustica

In un ambiente poco profondo le interazioni tra il campo acustico e il fondale marino sono importanti, e profili geoacustici accurati sono necessari per una corretta modellizzazione acustica. Le interazioni tra campo acustico e fondale marino diventano trascurabili in acque molto più profonde. Profili geoacustici generici sono quindi considerati validi per modellizzare l'intera area circostante al sito di studio. Poiché tale area è ampia e le informazioni geoacustiche sono limitate in definizione spaziale, è stato costruito un profilo geoacustico semplificato per rappresentare le principali caratteristiche della colonna di sedimenti nel sito modellizzato.

I campioni di carotaggio poco profondo prelevati intorno al sito hanno indicato che lo strato superiore di sedimenti fino a circa 30 m sotto il fondale marino è prevalentemente limo-argilloso. Un sondaggio di pozzo disponibile tramite il progetto sulla Visibilità dei Dati afferenti all'attività di esplorazione Petrolifera in Italia (ViDEPI; Società Geologica Italiana 2021) ha indicato che il sedimento al di sotto di questa profondità è sostanzialmente uniforme in composizione; in assenza di informazioni più dettagliate, non sono stati quindi modellizzati altri strati sotto la superficie. Il profilo dei parametri geoacustici in funzione della profondità sotto il suolo è stato calcolato dai valori di Hamilton (1980) ed è presentato nella Tabella 5. Il modello MONM-Bellhop, utilizzato in questo studio per la stima delle distanze di impatto del suono sui mammiferi marini, considera solo le proprietà delle onde trasversali dello strato superficiale; questi valori sono quindi considerati costanti nel profilo.

L'angolo critico necessario per la stima dei livelli di sorgente è stato calcolato basandosi sul profilo della velocità del suono e il tipo di substrato secondo la formula:

$$\arccos(1508/1530) * 180/\pi \quad (5)$$

Tabella 5. Profilo geoacustico stimato per il sito modellizzato. All'interno di ogni intervallo di profondità, ogni parametro varia linearmente all'interno dell'intervallo indicato. L'onda di compressione (P) è l'onda primaria. L'onda trasversale (S) è l'onda secondaria

Profondità sotto il suolo (m)	Materiale	Densità (g/cm ³)	Onda di compressione		Onda trasversale	
			Velocità (m/s)	Attenuazione (dB/λ)	Velocità (m/s)	Attenuazione (dB/λ)
0.0-100.0	Sabbia-argilla	1.53-1.66	1530-1650	0.20-0.55	150.0	3.65
100.0-200.0		1.66-1.78	1650-1760	0.55-1.23		
200.0-300.0		1.78-1.89	1760-1860	1.23-1.01		
300.0-400.0		1.89-1.99	1860-1950	1.01-0.93		
400.0-500.0		1.99-2.08	1950-2030	0.93-0.90		
500.0-600.0		2.08-2.16	2030-2100	0.90-0.87		
600.0-700.0		2.16-2.22	2100-2170	0.87-0.85		
700.0-800.0		2.22-2.27	2170-2230	0.85-0.84		
800.0-900.0		2.27-2.30	2230-2290	0.84-0.83		
900.0-1000.0		2.30-2.32	2290-2350	0.83-0.83		

4. Risultati

La prima parte di questo studio è consistita nell'analizzare i dati acustici registrati durante le quattro stagioni di campionamento; questi risultati sono presentati nella sezione 4.1. Successivamente, i livelli a banda larga e in bande di decedecade ottenuti dalle misure sono stati utilizzati nella modellizzazione tramite il modello SL.SCA per ottenere i livelli di sorgente del terminale. Questi sono stati usati come input per stimare i campi di livello sonoro riferiti alla posizione dell'FSRU Toscana come punto sorgente (sezione 3.2) per la valutazione dell'impatto del suono sui mammiferi marini, effettuata utilizzando il modello di propagazione MONM-Bellhop.

4.1. Livelli ricevuti

I dati acustici ricevuti sono stati analizzati tramite la generazione di spettrogrammi per evidenziare le frequenze di rilievo. Esempi di spettrogrammi del segnale acustico per ciascuna stagione sono presentati dalla Figura 9 alla Figura 16.

I livelli ricevuti a 10km dal terminale FSRU Toscana sono stati esclusi dall'analisi successiva in quanto il ricevitore era troppo lontano dalla sorgente per ottenere livelli caratteristici del terminale. Il rumore subacqueo a 10km dall'FSRU è infatti dominato da altre sorgenti di rumore situate più in prossimità dell'idrofono, come ad esempio navi di passaggio. L'ispezione visuale degli spettrogrammi per le diverse stazioni di campionamento (100m e 1000m) ha rivelato che alcune delle misurazioni sono state fatte in presenza di imbarcazioni nell'area circostante al ricevitore; in questi casi, le emissioni acustiche del terminale sono state mascherate dai segnali acustici delle imbarcazioni limitrofe. Di conseguenza, alcuni dati sono stati scartati dall'analisi e quindi esclusi dal calcolo dei livelli di sorgente, come dettagliato nelle sezioni 4.1.1-4.1.3.

È inoltre importante notare che la maggior parte delle registrazioni, indipendentemente dalla stagione, presenta forti segnali potenzialmente associabili a rumore elettronico del sistema di acquisizione che spesso maschera il segnale acustico, più debole, dovuto al rigassificatore. In mancanza di informazioni più dettagliate riguardo il sistema di acquisizione, non è però possibile stabilire con certezza se questi toni siano interamente di origine interna, o includano componenti acustiche attribuibili al terminale. Pertanto, tali valori sono stati inclusi nell'analisi con dovute annotazioni.

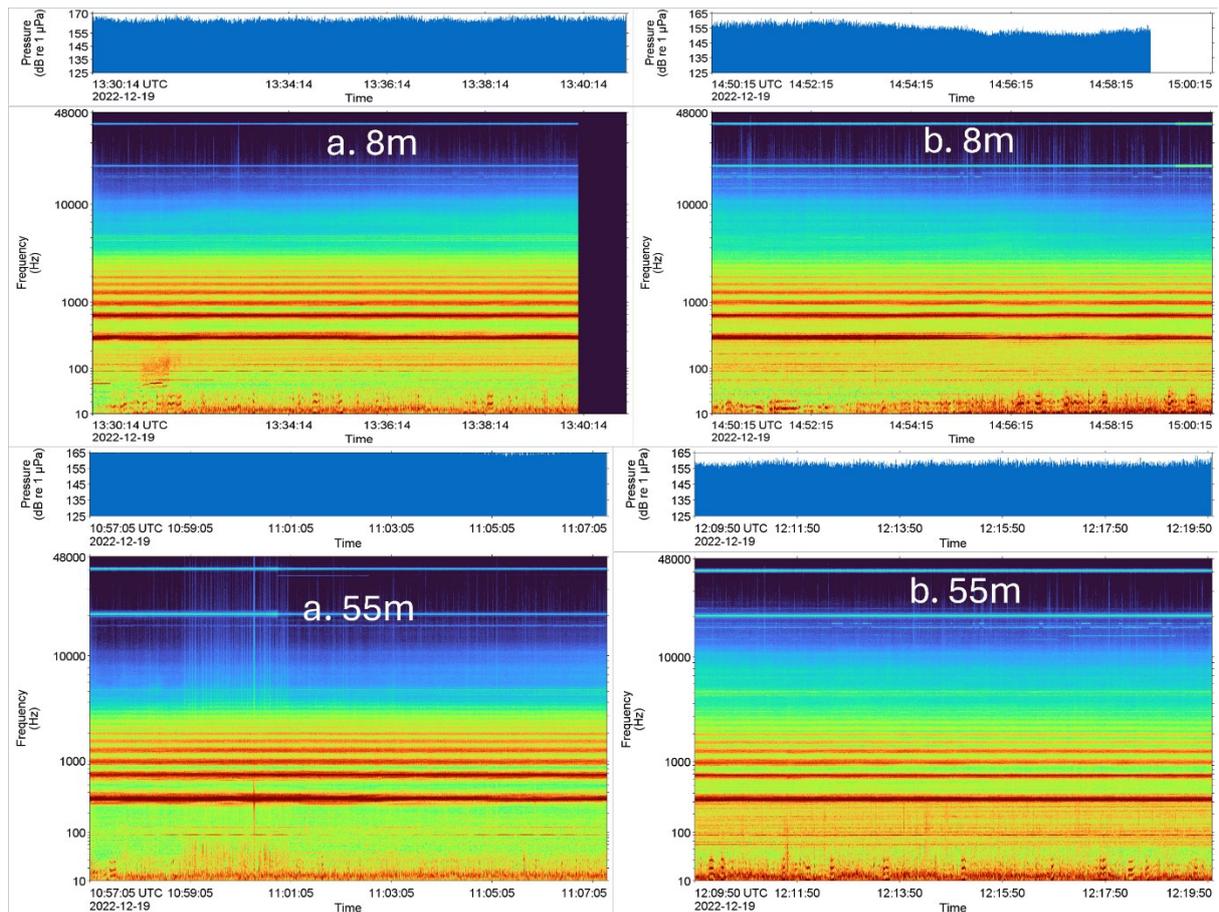
4.1.1. Autunno 2022 (A22)

I dati per la stagione dell'autunno 2022 (A22) sono stati registrati fra il 18 e il 19 dicembre 2022. Durante tutte le registrazioni, il terminale era in fase "Holding" ovvero l'impianto era in funzione con attività di invio gas a terra (Send-out) descritto in dettaglio nell' Appendice D, Tabella D-2. In questo assetto del terminale, due turbine a vapore di minori dimensioni (TG1 e TG2 da 3.35 MW) e una più grande (TG3 da 10MW) erano attive simultaneamente. L'impianto di correzione del Wobbe index è risultato sempre attivo e la rigassificazione pari a circa 400ton/h.

Esempi di spettrogrammi dai dati registrati in direzione Sud a 100m ed a 1km dal terminale sono presentati rispettivamente in Figura 9 e Figura 10. Negli spettrogrammi è possibile notare le seguenti caratteristiche tonali:

- Segnali non dovuti all'attività del terminale
 - A frequenze sotto i 40Hz è presente rumore di flusso causato dal movimento dell'acqua attorno all'idrofono sospeso.
 - A circa 100Hz è presente un segnale intermittente associabile ai circuiti interni del sistema di registrazione acustica.

- Possibili artefatti del sistema di acquisizione dei dati, visibili in tutte le registrazioni. I due toni a ~300Hz e ~700Hz e relative armoniche tra i 1000 e 2000 Hz possono essere associati ad un'interferenza elettronica nella strumentazione.
- Similmente a quanto riscontrato negli anni precedenti (VIII e IX di monitoraggio), artefatti tonali ad alte frequenze come ad esempio i toni a 20kHz e 40kHz.
- Toni a 250Hz e ~ 800Hz associati con l'attività di pompe e di un generatore sul terminale (descritti nelle relazioni per l'Anno VII e IX) non sono chiaramente individuabili in queste registrazioni in quanto dissimulati dal rumore elettronico del sistema di acquisizione, soprattutto in misurazioni effettuate a 100m; appaiono invece più visibili nelle registrazioni a 1km di distanza benché la loro origine rimanga incerta.



Z

Figura 9. Stagione A22: esempi di spettrogrammi (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming) per i dati relativi alla stazione a 100m sud dal terminale FSRU, per le due profondità di monitoraggio 8 e 55 m.

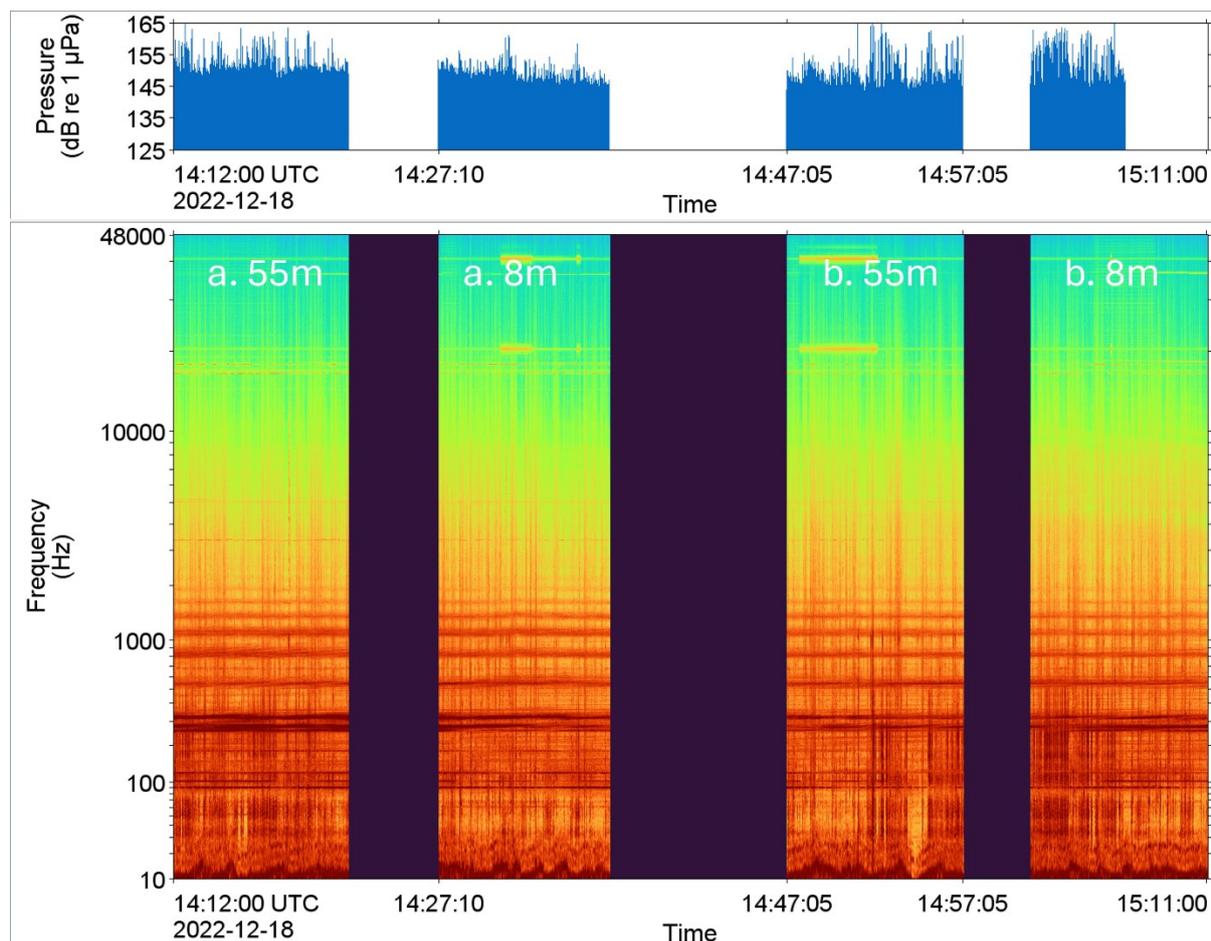


Figura 10. Stagione A22: esempi di spettrogrammi (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming) per i dati relativi alla stazione a 1km Sud dal terminale FSRU, che mostrano, in ordine cronologico, le registrazioni di canale a-55m, a-8m, b-55m e b-8m. Le parti nere indicano lacune nei dati durante la manipolazione dell'idrofono per cambiare profondità di monitoraggio.

4.1.2. Inverno 2023 (I23)

I dati per l'inverno 2023 (I23) sono stati registrati fra il 16 marzo e il 6 aprile 2023 quando FSRU Toscana era nello stato di Holding, cioè in attività regolare di rigassificazione. Sebbene il monitoraggio sia avvenuto nell'arco di molti giorni, la stessa attrezzatura risulta attiva secondo i registri di OLT (Tabella D-2). In particolare, il terminale operava quasi sempre con le 2 turbine a vapore minori (3.35 MW) e quella più grande (10MW) in attività e l'impianto di correzione del Wobbe index (per la correzione della qualità del GN) attivo in alcuni giorni, e la rigassificazione si aggirava sui ~400 ton/h (Tabella D-2) con 2 booster pump attive.

Esempi di spettrogrammi dai dati registrati a 100m dal terminale in direzione Est e ad una distanza di 1km verso Ovest sono presentati rispettivamente in Figura 11 e Figura 12. Come nell'esempio per la stagione precedente, negli spettrogrammi si possono identificare forti componenti tonali di origine elettronica con relative armoniche.

- Segnali non dovuti all'attività del terminale
 - Il rumore di flusso dell'idrofono.
 - Artefatti del sistema di acquisizione, a 50 Hz e armoniche, 20kHz e armoniche, e 40kHz.
 - Rumori metallici a basse frequenze associati udibilmente con il movimento di catene.

- Suoni dovuti al passaggio di un'imbarcazione (visibili in Figura 12, spettrogramma b 55m).
- Suoni a larga banda spettrale (linee verticali) dallo sciabordio delle onde contro lo scafo dell'imbarcazione usata per il monitoraggio.
- Suoni congruenti con attività del terminale, evidenti come toni continui a frequenze comprese fra i 300 e i 2000 Hz, tuttavia ambigui quanto ad essere dovuti interamente al funzionamento di sistemi di bordo o contaminati da rumore elettronico.

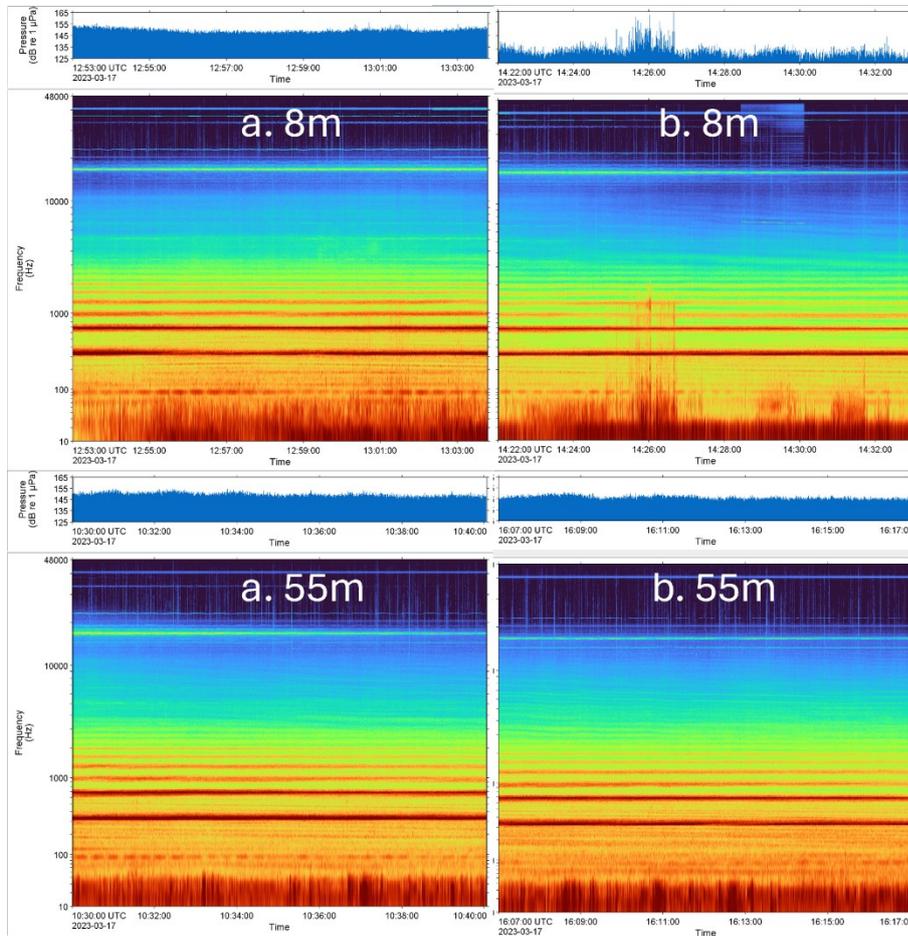


Figura 11. Stagione I23: esempi di spettrogrammi (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming) per i dati relativi alla stazione a est del terminale FSRU a 100m di distanza e profondità di 8 e 55 metri.

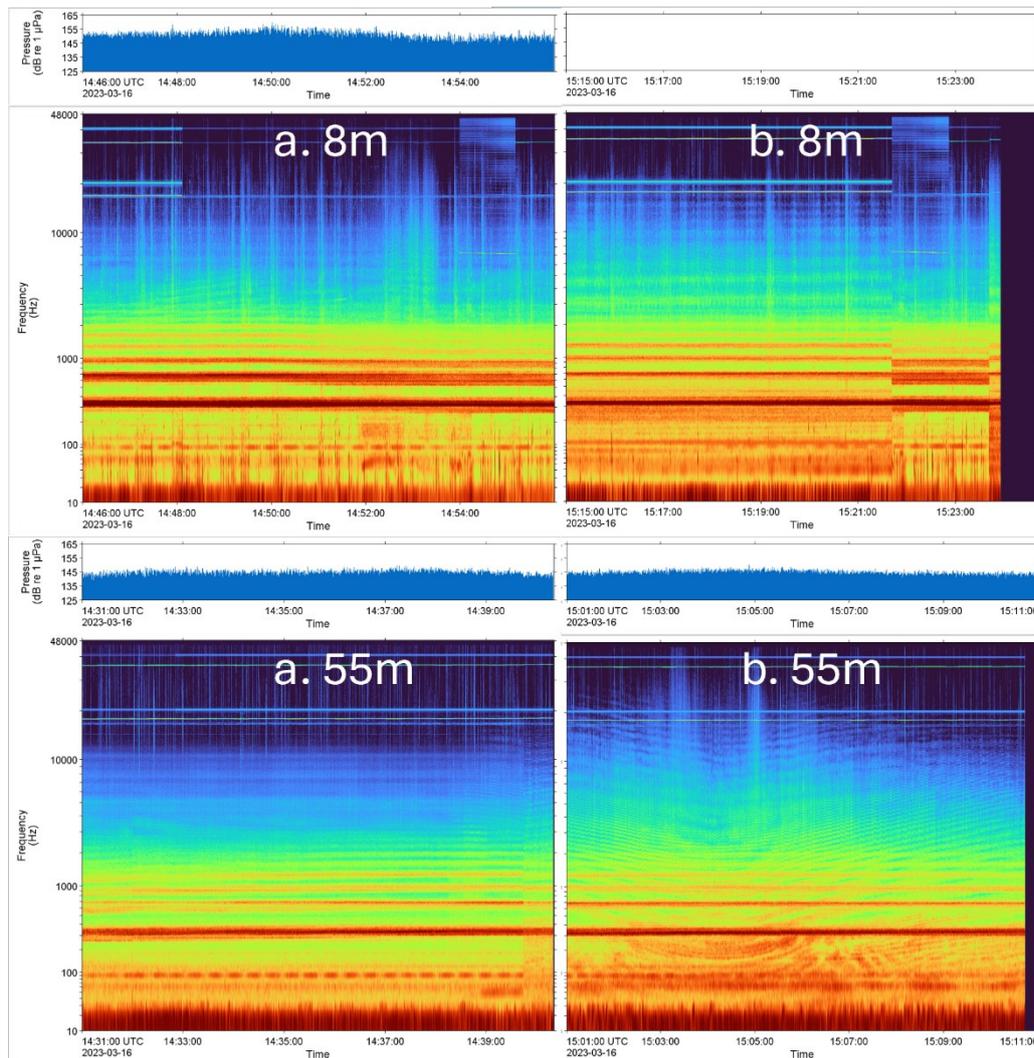


Figura 12. Stagione I23: esempi di spettrogrammi (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming) per i dati relativi alla stazione a Ovest del terminale FSRU a 1km di distanza e profondità di 8 e 55 metri.

4.1.3. Primavera 2023 (P23)

I dati per la primavera 2023 (P23) sono stati registrati fra il 22 e il 29 maggio mentre il terminale era nella modalità operativa di Holding (tabella C-2), salvo il 22 maggio in cui si trovava in stato di “Zero Send-out”. Il terminale operava con 3 Turbine a vapore attive (una più grande da 10 MW e 2 minori da 3.35MW). Relativamente alla rigassificazione si evidenzia che l’impianto di Wobbe index era attivo in modo alternato e che la portata di rigassificazione era variata tra 350 e 430 ton/h (Tabella D-2).

Esempi di spettrogrammi dai dati registrati a 100m ad Ovest e ad 1km ad Est dal terminale sono presentati rispettivamente in Figura 13 e Figura 14. È facile notare che per la registrazione a 100m di distanza il canale b, per entrambe le profondità di misurazione, non esibisce il forte rumore elettronico del sistema di acquisizione acustica e permette di osservare i toni a 250Hz e ~ 800 Hz associabili con l’attività di pompe e di un generatore sul terminale (descritti nelle relazioni per l’Anno VII e IX). Similmente, per la registrazione ad 1km di distanza alla profondità di 55m, entrambi i canali mostrano senza interferenza elettronica i toni associabili alle attività del terminale. Si intravede inoltre il tono a 16kHz dovuto al funzionamento delle turbine.

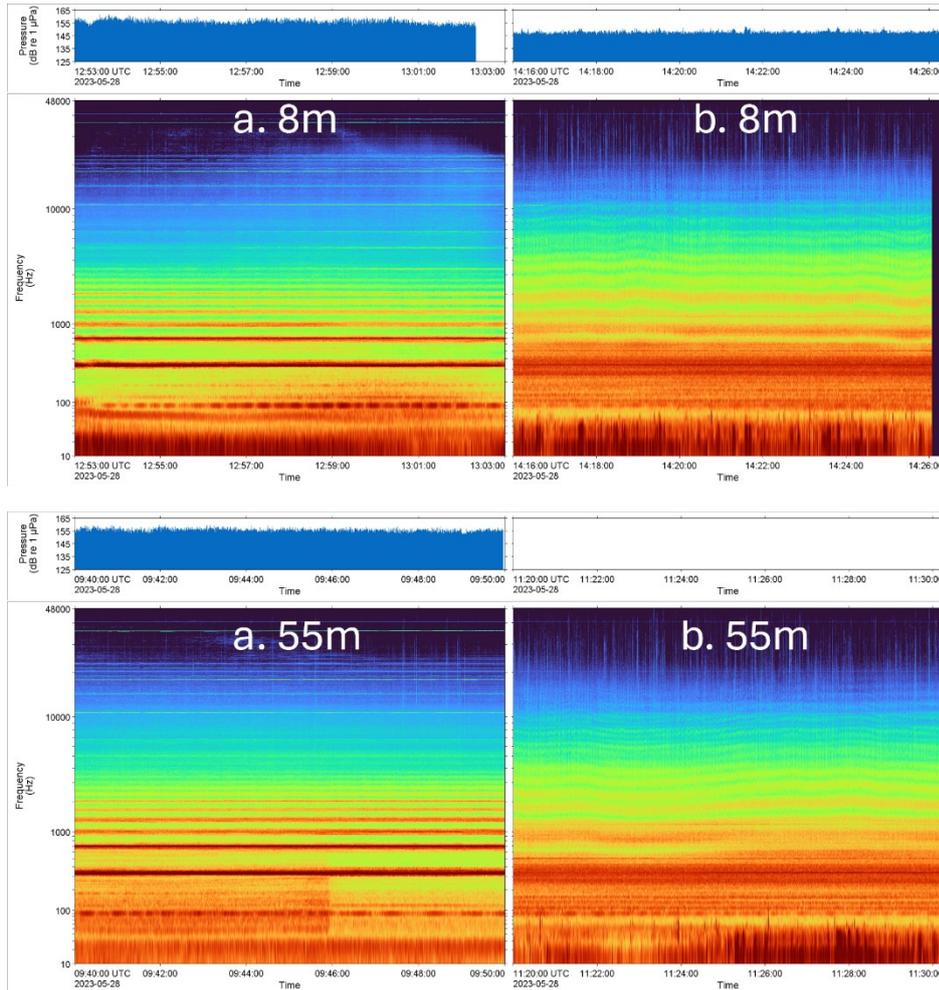


Figura 13. Stagione P23: spettrogramma (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming) per i dati relativi alla stazione a Ovest del terminale FSRU a 100m di distanza e profondità di 8 e 55 metri.

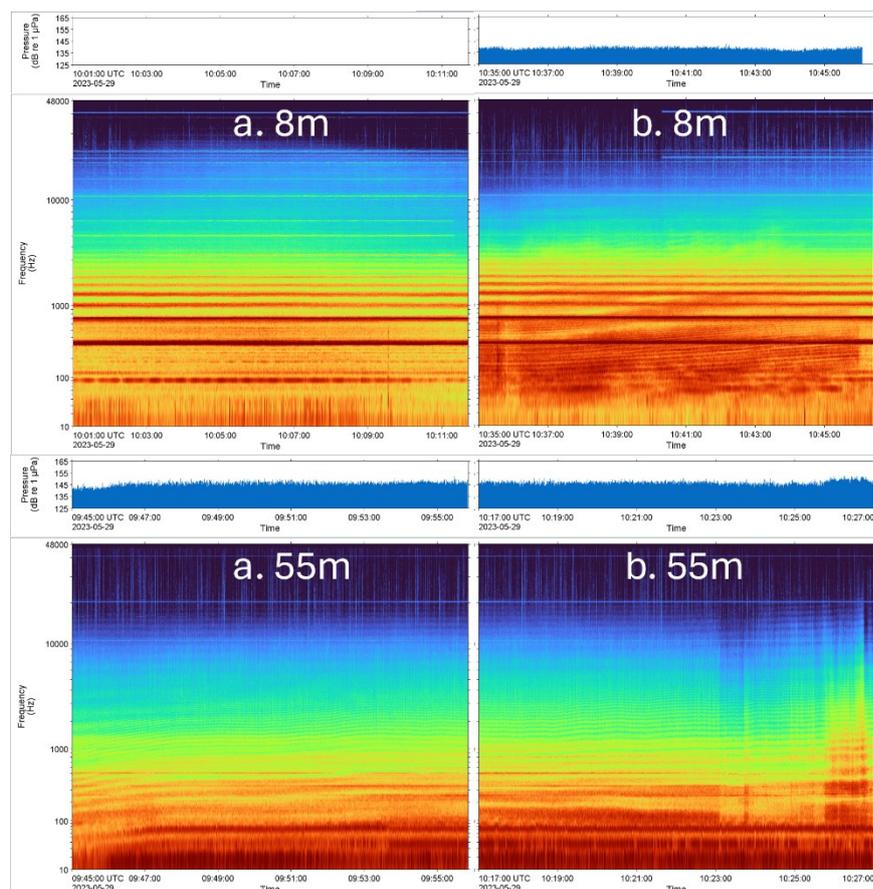


Figura 14. Stagione P23: spettrogramma (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming) per i dati relativi alla stazione a Est del terminale FSRU a 1km di distanza e profondità di 8 e 55 metri.

4.1.4. Estate 2023 (E23)

I dati per l'estate 2023 (E23) sono stati registrati fra il 2 e il 9 settembre 2023 quando FSRU Toscana era nello stato di Holding, cioè in attività regolare di rigassificazione, con una turbina da 10 MW in operazione congiuntamente alle 2 turbine minori da 3.35 MW. Relativamente alla rigassificazione si evidenzia che l'impianto di Wobbe index era prevalentemente attivo e che la portata in media era compresa tra 380 e 420 ton/h (Tabella D-2).

Esempi di spettrogrammi generati dai dati registrati a 100m e 1km in direzione Est sono presentati rispettivamente nella Figura 15 e Figura 16. Negli spettrogrammi si possono identificare le seguenti caratteristiche:

- Segnali non dovuti all'attività del terminale
 - Il rumore di flusso dell'idrofono.
 - Artefatti del sistema di acquisizione del segnale.
 - Suoni a larga banda spettrale (linee verticali) dallo sciabordio delle onde contro lo scafo dell'imbarcazione usata per il monitoraggio.
- Suoni congruenti con attività a bordo del terminale ma incerti quanto a contaminazione da rumore elettronico come già descritti nella sezione precedente.

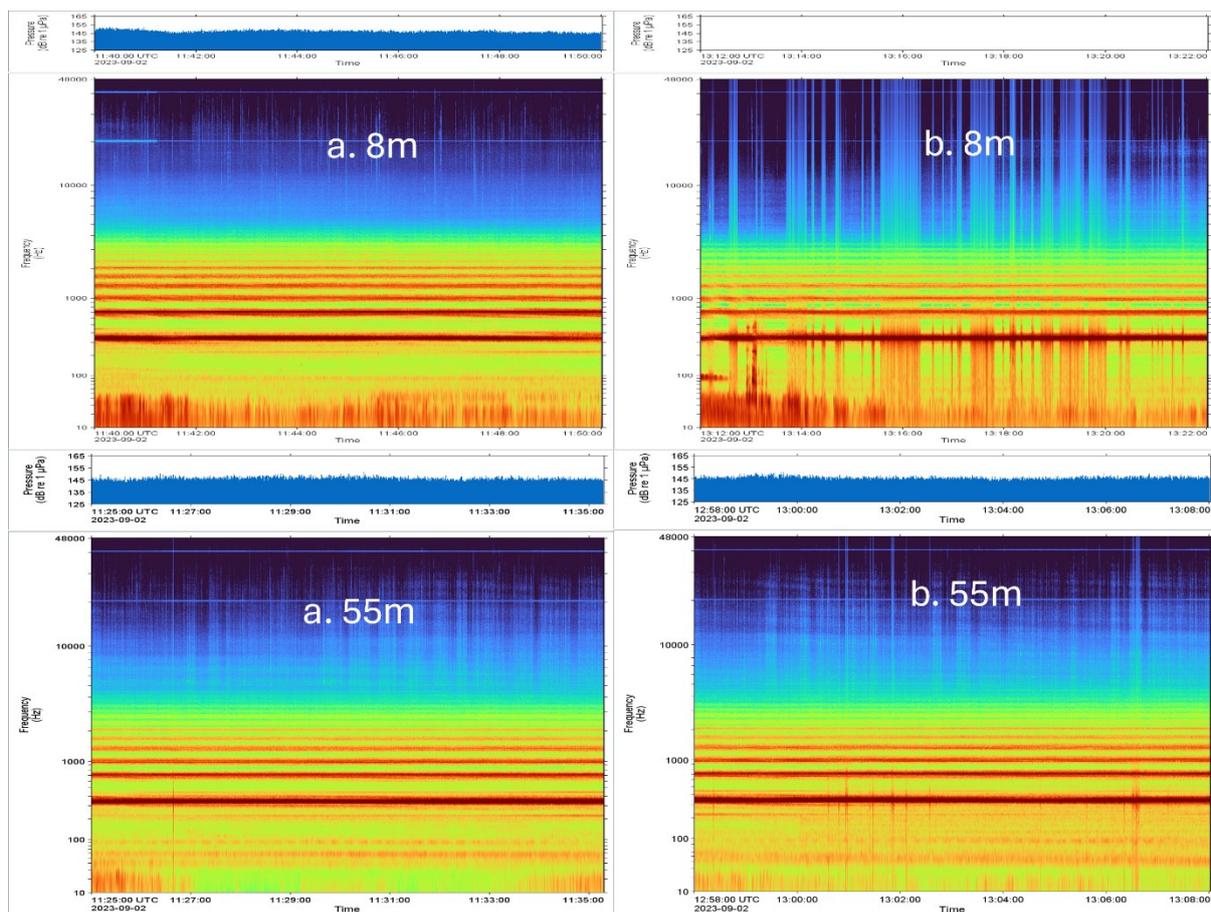


Figura 15. Stagione E22: spettrogramma (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming) per i dati relativi alla stazione a est del terminale FSRU a 100m di distanza e profondità di 8 e 55m.

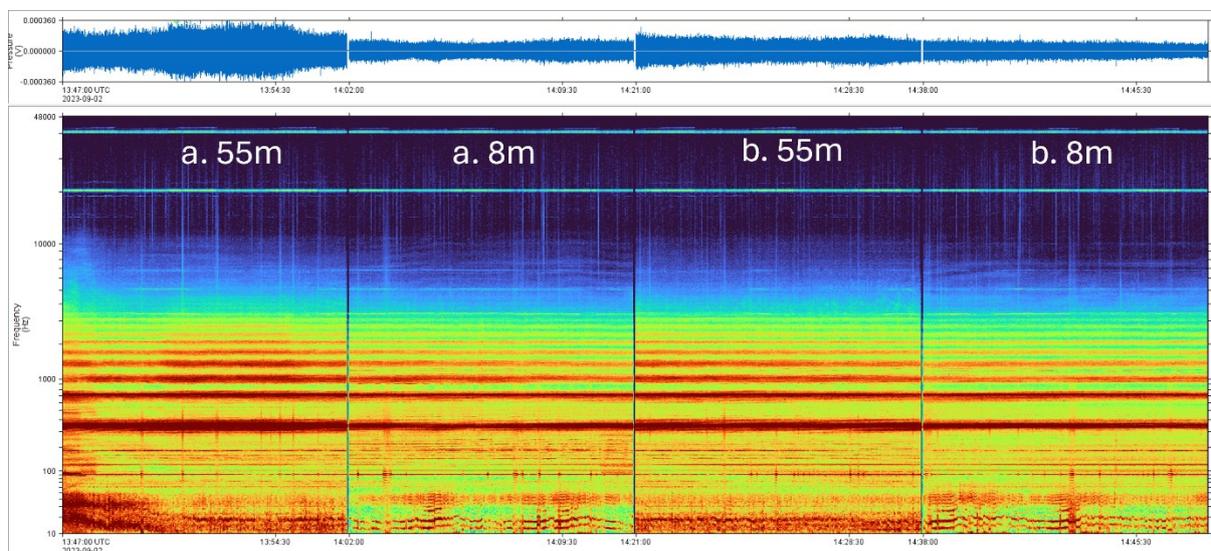


Figura 16. Stagione E23: esempi di spettrogrammi (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming) per i dati relativi alla stazione a 1km Est dal terminale FSRU, che mostrano, in ordine cronologico, le registrazioni di canale a-55m, a-8m, b-55m e b-8m.

4.1.5. Confronto inter-stagionale

In tutte le registrazioni sono stati individuati artefatti elettronici del sistema di acquisizione già descritti. Inoltre, si può notare nelle basse frequenze (sotto i 40Hz) rumore spurio dovuto al flusso dell'acqua attorno all'idrofono sospeso da un'imbarcazione. Ciononostante, alcune osservazioni acustiche che si possono ragionevolmente correlare con il funzionamento del terminale FSRU Toscana (Tabella 6) sono state possibili, soprattutto in certe registrazioni delle stagioni A22 e P23 che non presentano eccessive interferenze tonali a ~300 e ~700 Hz e armoniche.

- Durante A22 e P23, frequenze comprese fra i 250 e i 900 Hz si associano con la produzione di corrente alternata (AC) a 50 cicli al secondo (50Hz) comune nei motori a 2 poli e altri motori AC.
- In generale, i livelli totali di pressione sonora riscontrati per E23 risultano essere inferiori di circa 10 dB (L_p re $1\mu\text{Pa}^2$) rispetto a quelli per A22. Questa differenza è visibile anche nello spettro per le individuali bande di frequenza (Figura 17 e Figura 18).
- Il livello mediano in banda larga non ponderato di L_p (10Hz-20kHz) e i livelli per le bande in decadedadi rappresentative del rumore continuo (63 Hz e 125 Hz) per ogni attività e profondità sono presentati nella Tabella 7. Per la distanza di 10km questi sono rappresentativi del traffico nell'area piuttosto che del funzionamento del terminale.

Tabella 6. Produzione di energia a bordo del terminale FSRU toscana durante i giorni di monitoraggio (somma giornaliera).

Stagione	Data	TG1	TG2	TG3	TG4	Diesel
A22	2022-12-18	42853.25	43644.31	126725.48	0.00	0.00
	2022-12-19	40318.87	41452.74	120120.95	0.00	52.64
I23	2023-03-16	42583.44	43609.33	126993.64	0.00	0.00
	2023-03-17	41616.67	42287.78	123375.90	0.00	0.00
	2023-03-21	53377.26	54031.53	157932.76	0.00	0.00
	2023-03-22	53437.55	54257.44	158708.56	0.00	2747.21
	2023-04-06	54192.14	55304.78	160973.57	0.00	0.00
P23	2023-05-22	37964.92	38513.88	112684.99	0.00	0.00
	2023-05-24	39688.78	40338.74	117004.34	0.00	0.00
	2023-05-26	45751.62	46766.57	136055.98	0.00	0.00
	2023-05-27	43369.05	43789.76	128313.39	0.00	0.00
	2023-05-28	40966.63	41999.71	122049.26	0.00	0.00
	2023-05-29	40598.82	41546.34	119644.80	0.00	0.00
E23	2023-09-02	47261.75	48186.78	141788.27	0.00	0.00
	2023-09-04	47253.56	48514.32	141087.18	0.00	0.00
	2023-09-05	46448.4	47547.0	139002.9	0.0	0.0
	2023-09-09	47781.9	48521.3	141560.1	0.0	0.0

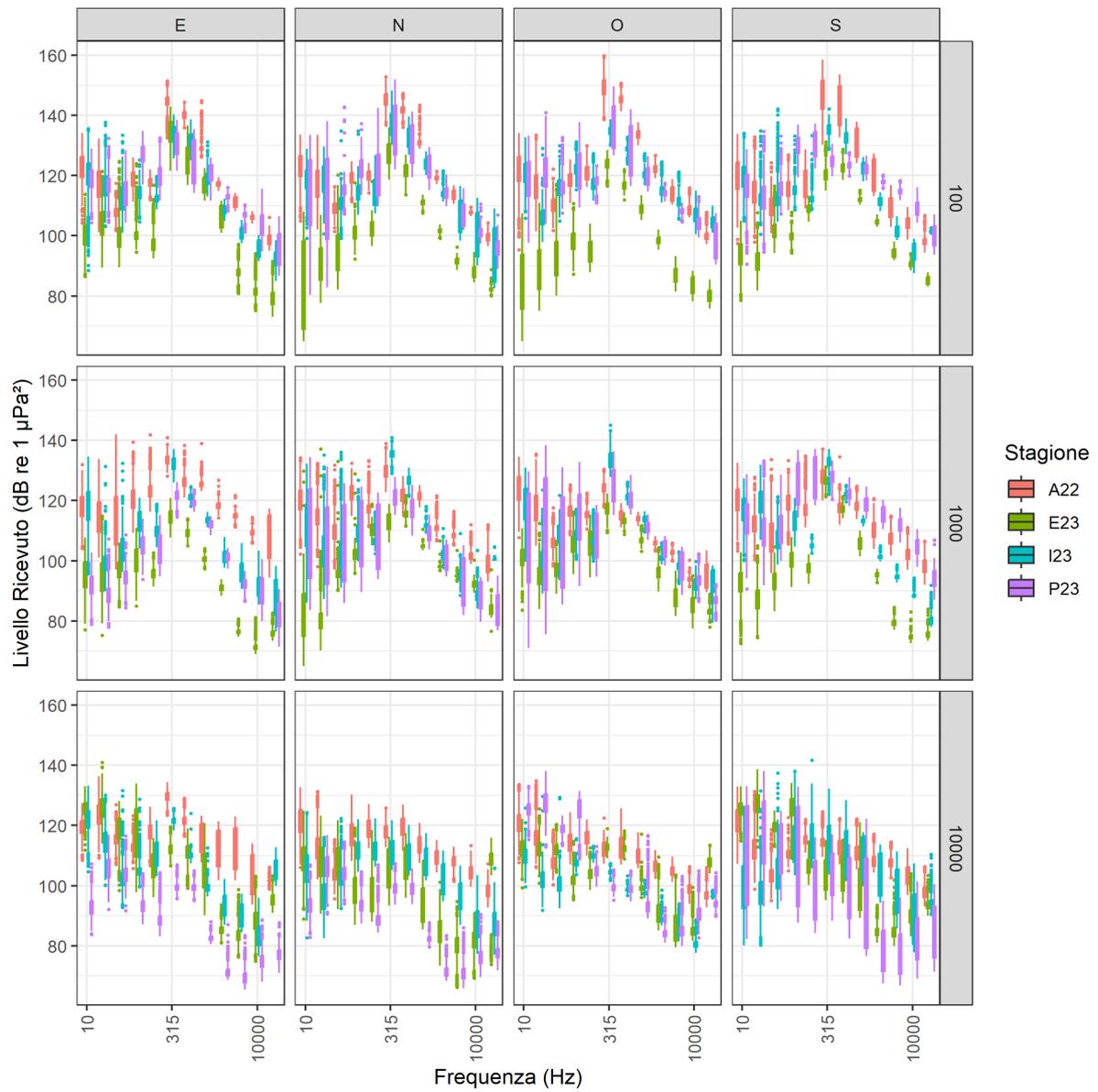


Figura 17. *Profondità nominale 8m*: Livelli ricevuti di pressione sonora ($L_{p, pk-pk}$) 1min per ogni frequenza (decade) misurati alle distanze di 100m, 1km e 10km dalla sorgente nelle diverse direzioni cardinali.

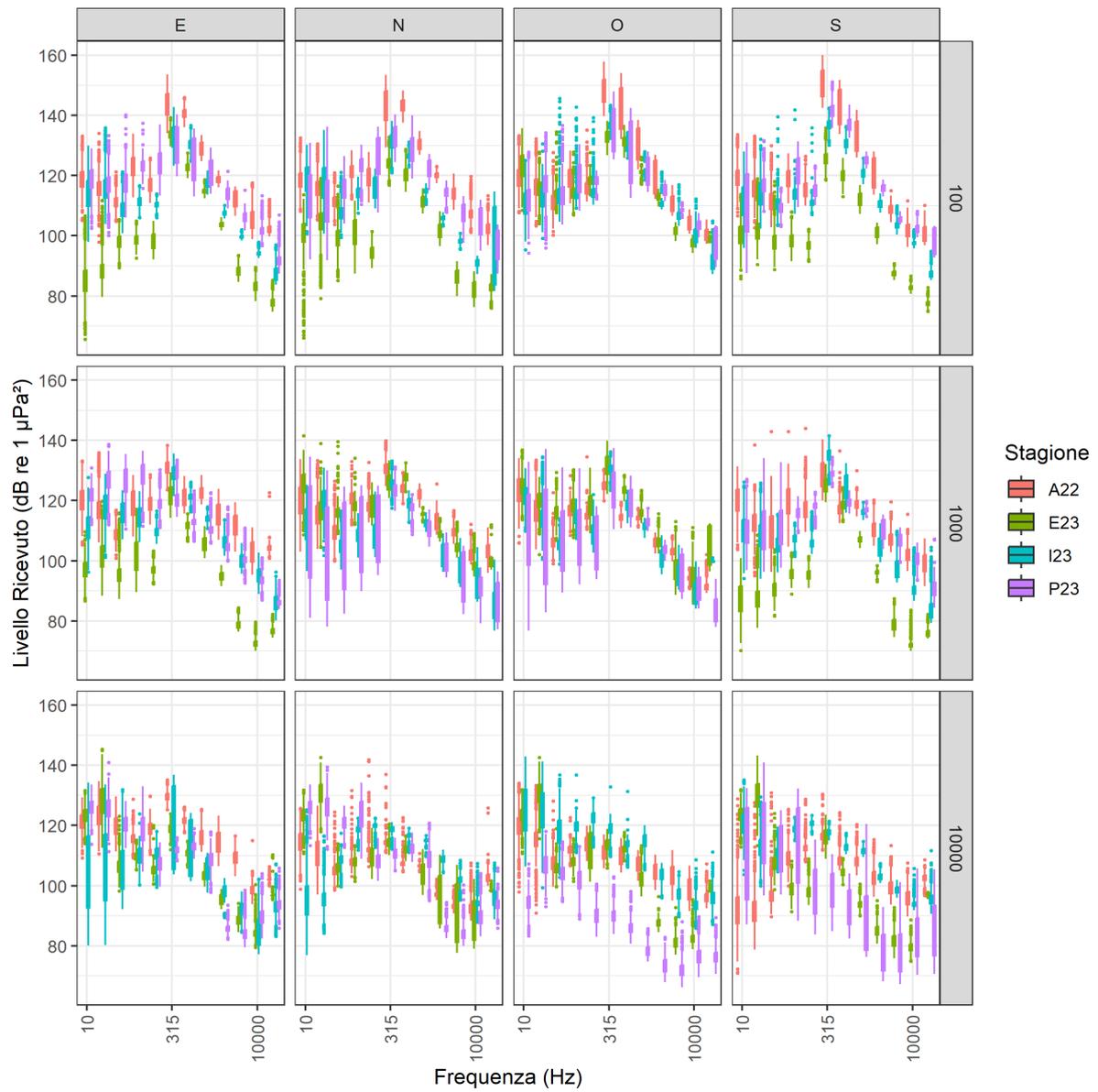


Figura 18. *Profondità nominale 55m*: Livelli ricevuti di pressione sonora ($L_{P,0-pk}$) 1min per ogni frequenza (decade) misurati alle distanze di 100m, 1km e 10km dalla sorgente nelle diverse direzioni cardinali.

Tabella 7. L_p mediani nella finestra temporale di 1 secondo per la banda larga (20Hz-20kHz) e per le bande in 1/3 ottava incentrate a 63Hz e 125Hz per ogni stagione e profondità di campionamento.

Direzione cardinale	Stagione	Distanza [m]	Banda larga - 10Hz-20kHz		Decidecade - 63Hz		Decidecade - 125Hz	
			8m	55m	8m	55m	8m	55m
Est	A22	100	146.7	146.4	113.5	117.2	118.8	120.0
		1000	142.1	137.3	115.0	114.2	125.4	119.7
		10000	136.0	135.7	113.1	117.4	119.5	120.5
	I23	100	138.3	136.6	113.6	110.9	112.8	110.3
		1000	133.7	132.8	110.3	111.7	111.0	111.1
		10000	131.6	124.2	104.7	108.7	105.1	112.3
	P23	100	138.7	138.4	117.7	118.8	122.2	125.5
		1000	125.6	138.1	97.9	127.2	104.9	119.8
		10000	115.9	136.5	89.1	125.1	91.0	105.3
	E23	100	136.5	134.6	97.7	98.8	97.0	97.7
		1000	118.1	123.1	91.0	93.4	95.7	96.7
		10000	136.9	137.6	123.4	107.4	105.9	108.2
Nord	A22	100	147.5	148.2	112.8	115.6	120.8	119.1
		1000	137.1	137.9	116.6	115.8	120.6	120.9
		10000	132.1	125.6	108.1	107.6	116.2	113.0
	I23	100	139.6	137.8	113.0	113.3	114.5	112.9
		1000	136.6	130.1	106.1	107.5	107.6	109.2
		10000	126.3	131.1	108.4	116.0	114.2	121.4
	P23	100	142.7	140.6	117.0	120.5	126.8	125.3
		1000	128.2	131.1	102.0	103.4	102.8	110.1
		10000	115.7	136.8	89.5	127.5	90.6	106.8
	E23	100	129.3	127.4	96.6	93.5	102.9	96.8
		1000	121.0	136.1	95.6	115.7	109.1	116.9
		10000	122.8	135.5	96.2	103.6	100.0	107.4
Ovest	A22	100	151.3	150.7	114.3	114.6	122.1	118.3
		1000	133.6	133.9	112.5	110.2	118.2	117.1
		10000	131.4	130.4	111.4	109.1	113.8	112.7
	I23	100	137.9	138.2	117.6	116.6	117.3	115.0
		1000	138.3	134.7	107.0	113.9	106.7	110.1
		10000	123.0	137.4	102.1	116.3	107.2	123.6
	P23	100	139.6	140.4	117.5	112.8	118.2	118.6
		1000	135.4	132.4	103.7	110.6	108.3	109.8
		10000	136.2	115.0	127.8	89.5	106.2	94.3
	E23	100	125.8	138.4	92.3	113.9	96.2	118.5

		1000	122.0	140.4	99.2	116.0	105.0	117.5
		10000	124.5	136.4	97.8	103.0	101.6	105.7
Sud	A22	100	152.0	152.0	113.2	115.2	120.3	118.0
		1000	134.9	136.6	110.9	112.6	120.2	119.8
		10000	130.0	123.6	107.5	103.0	113.5	112.1
	I23	100	139.0	138.7	116.0	113.1	113.5	112.4
		1000	134.9	136.4	106.7	109.2	108.2	107.8
		10000	125.2	132.5	112.4	115.9	114.7	120.8
	P23	100	140.1	143.6	119.8	113.7	131.4	116.0
		1000	139.6	134.7	117.7	113.0	127.3	117.6
		10000	135.0	134.2	124.2	122.6	104.6	104.1
	E23	100	127.2	127.9	98.7	95.3	105.7	99.6
		1000	127.8	125.9	94.7	94.1	99.2	99.0
		10000	136.5	137.7	127.7	101.0	107.1	98.0

4.2. Livelli di sorgente

Per stimare i livelli di sorgente, sono state calcolate le distanze oblique fra il ricevitore (idrofono) e la sorgente. La sorgente è stata considerata fissa rispetto alle coordinate del terminale FSRU sebbene il terminale ruoti a seconda delle condizioni meteo. Inoltre, l'angolo di incidenza è stato calcolato per verificare se le registrazioni rientrassero nel range dei 15-45 gradi che sono suggeriti dal metodo SL.SCA per la stima dei livelli di sorgente. Nella Figura 19 i livelli sono presentati per ogni banda di frequenza ed è possibile notare che in alcuni casi i livelli aumentano con l'aumentare della distanza dalla sorgente. Ciò è indicativo del fatto che con l'aumentare della distanza del ricevitore, i livelli di trasmissione del suono possono essere stati sovrastimati. La Figura 19 mostra anche l'angolo radente fra la sorgente e il ricevitore; le misurazioni sono state effettuate per lo più al di fuori dell'angolo radente consigliato per la stima dei livelli di sorgente. Ciò significa che ci si può attendere maggiore incertezza nel calcolo dei livelli di sorgente; ciononostante, il metodo SCA è comprovato essere uno dei più robusti per la stima del livello di sorgente perché tiene conto delle caratteristiche geo-acustiche del sedimento (MacGillivray et al. 2022). I livelli utilizzati per la stima dei raggi di impatto sui mammiferi sono stati selezionati tenendo conto dei dati in cui i livelli di sorgente sono stabili indipendentemente dalla distanza del ricevitore, e delle esclusioni necessarie date le considerazioni descritte nella Tabella 4. Tali dati sono identificati da riquadri verdi nella Figura 19. Dai dati presentati, che mostrano in ascissa la distanza effettiva del monitoraggio, si può anche evincere che la distanza del ricevitore in alcuni casi devia di parecchie centinaia di metri dalla distanza nominale, ad es. per la stazione Est 100m della stagione A22 o stazione Sud della stagione P23).

Un'altra peculiarità dei dati è la stima dei livelli di sorgente attorno ai 20kHz (punti rosso scuro); questa frequenza è associata a un rumore elettronico interno del registratore e il suo apparente livello ricevuto non è quindi dipendente dalla distanza della sorgente (FSRU).

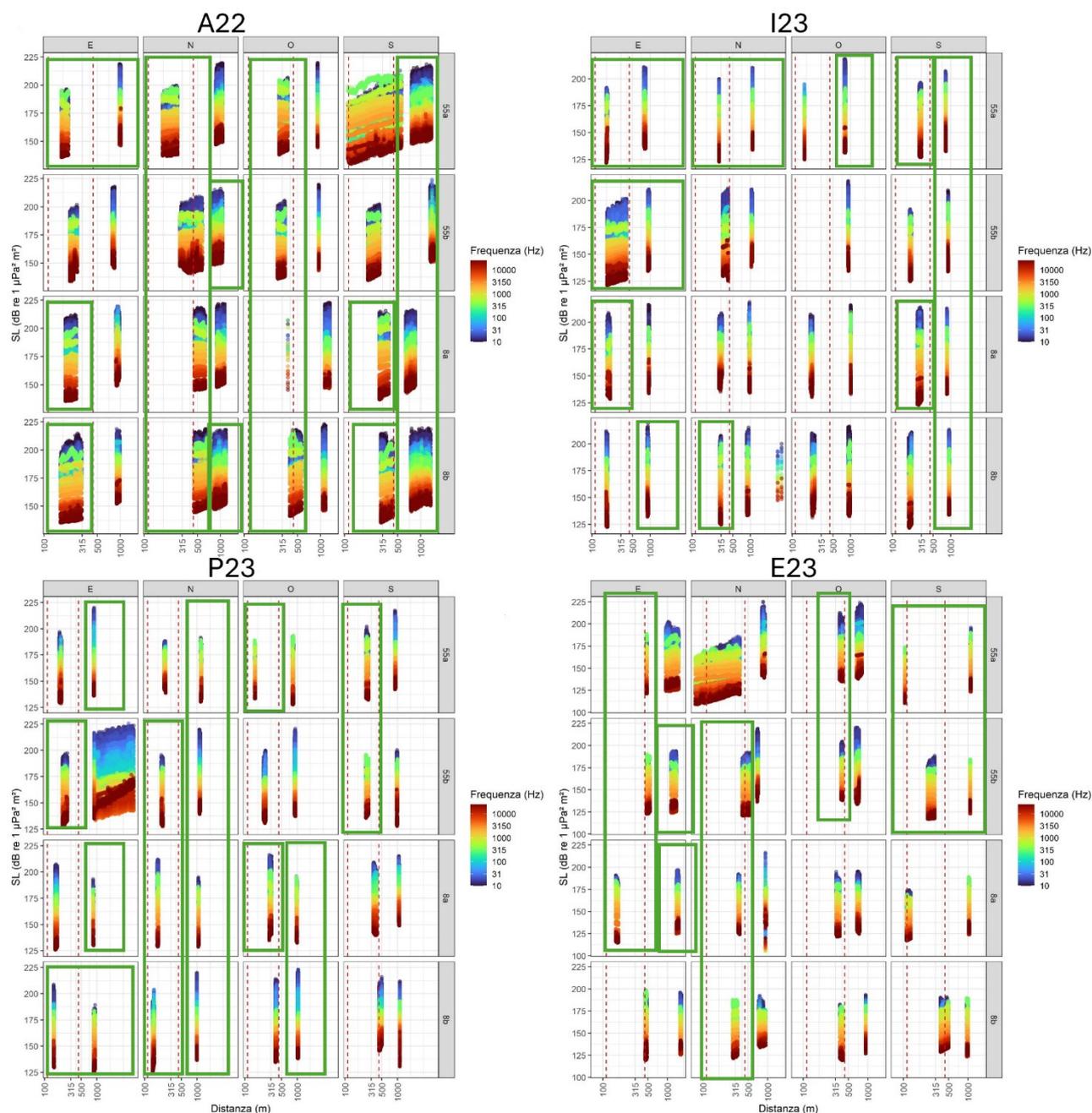


Figura 19. Grafico a dispersione dei livelli di sorgente calcolati in bande di decadedadi suddivisi per ogni stagione (A22 in alto a sinistra, I23 in alto a destra, P23 in basso a sinistra, e E23 in basso a destra). Le linee verticali indicano la fascia di portata per gli angoli radenti a 15 e 45 gradi rispettivamente per l'idrofono.

I livelli di sorgente sono stati calcolati in ciascuna banda di frequenza per ogni stagione e profondità (Tabella 8) aggiungendo il TL ottenuto dalla modellizzazione ai dati di L_P nell'intervallo di 1 minuto.

La mediana dei valori delle sorgenti per le stazioni e profondità selezionate è stata usata come input al modello di propagazione per la valutazione degli impatti sui mammiferi marini in modo da ottenere una stima conservativa (Figura 20).

Inoltre, come si osserva anche per i livelli ricevuti, i livelli mediani di sorgente hanno un andamento variabile, essendo leggermente inferiori per E23 e massimi per A22, escludendo le frequenze sotto i 30 Hz che sono caratterizzate dal rumore di flusso e la banda attorno ai 20kHz che è dominata dall'artefatto del registratore. Per quanto riguarda l'assetto del terminale, durante tutte e 4 le stagioni

l'impianto effettuava prevalentemente attività di rigassificazione, spesso con l'impianto Wobbe index acceso, soprattutto nelle stagioni A22 e I23. La generazione di energia elettrica era sempre data da tre turbine, una più grande e due minori (Tabella 6).

I livelli di sorgente in banda larga (10Hz-25kHz) sono [213.9, 205.1, 209.3, 192.4] dB re $1\mu^2\text{m}^2$ rispettivamente per [A22, I23, P23, E23].

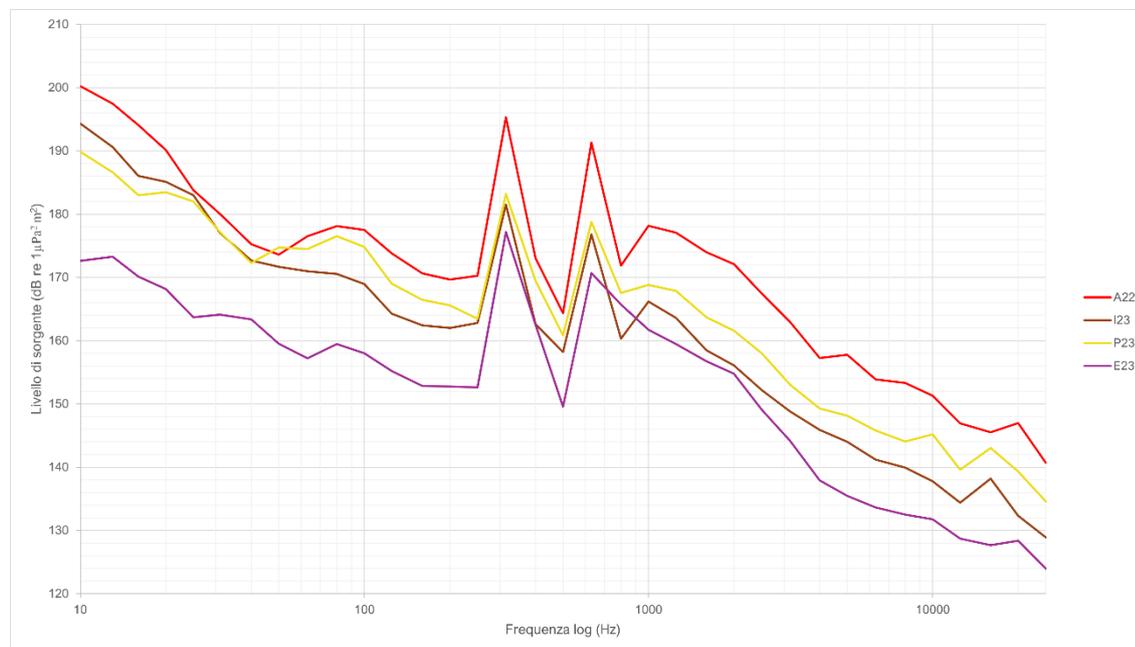


Figura 20. Livelli di sorgente (in bande decidecade) per le diverse stagioni riferite a un metro dalle coordinate del terminale FSRU Toscana utilizzati per la modellizzazione per ottenere le distanze per le soglie d'insorgenza di impatto sui mammiferi marini. I valori rappresentati sono stati ottenuti calcolando il 90° percentile per ciascuna stagione utilizzando entrambe le profondità di acquisizione dei dati.

Tabella 8. Livelli di sorgente (SL espressi in dB re $\mu\text{Pa}^2 \text{m}^2$) calcolati sulla banda larga (10Hz-25kHz) e per ogni banda 1/3 di ottava per ogni stagione combinando le diverse direzioni cardinali.

Frequenza [Hz]	SL [dB re $\mu\text{Pa}^2 \text{m}^2$]			
	A22	I23	P23	E23
10	211.2	199.6	201.6	187.0
13	205.4	201.6	204.9	186.7
16	201.2	194.3	204.6	179.3
20	201.2	194.2	196.3	177.0
25	193.0	186.4	190.3	173.2
31	189.4	183.9	187.0	172.5
40	183.5	180.0	180.7	172.4
50	182.5	182.6	182.2	172.2
63	184.3	177.7	185.2	166.1
80	187.5	174.9	187.5	165.3
100	186.6	173.3	185.4	167.5
125	185.3	170.4	181.2	167.8
160	182.6	166.8	175.7	167.4

200	180.9	167.2	172.1	165.2
250	178.7	169.2	170.4	166.9
315	205.9	192.2	192.8	185.5
400	180.3	169.8	173.9	171.9
500	174.6	161.5	166.5	162.1
630	198.2	184.5	184.5	178.5
800	178.6	166.2	169.8	176.8
1000	186.2	174.4	173.3	170.7
1250	184.2	172.2	170.0	169.2
1600	178.8	166.2	166.2	166.8
2000	176.4	162.6	164.9	164.8
2500	171.2	159.3	160.6	160.2
3150	166.1	153.5	155.9	155.3
4000	163.3	149.7	152.1	151.4
5000	164.4	147.5	151.8	148.7
6300	162.0	145.3	149.4	147.9
8000	161.5	144.2	147.7	146.4
10000	158.9	142.1	149.1	144.7
12500	154.0	137.3	144.1	142.3
16000	152.4	149.4	148.1	140.5
20000	152.0	146.9	148.0	146.2
25000	147.5	133.1	140.1	137.4
Broadband	213.9	205.1	209.3	192.4

4.3. Impatto sui mammiferi marini

L'impatto del rumore sui mammiferi marini è stato valutato principalmente con riguardo al disturbo comportamentale.

Le distanze a cui specifici livelli di L_P (valori soglia per i disturbi comportamentali) vengono ecceduti sono presentate nella Tabella 9 e nelle Figure 22-25 per ciascuna delle stagioni di monitoraggio. I risultati sono discussi nella Sezione 5, nel contesto delle soglie comportamentali identificate per i diversi gruppi uditivi da Borsani and Farchi (2011). Le distanze di impatto sono presentate in termini del livello sonoro massimizzato su tutte le profondità, tanto come distanze massime (R_{max}) che come $R_{95\%}$; quest'ultimo è più rappresentativo della distribuzione dei dati rispetto a R_{max} . Le distanze massime sono presentate nell'Appendice E, mentre i novantacinquesimi percentili sono riportati in questo capitolo.

La modellizzazione dei raggi di impatto è stata effettuata per due casi: il primo considera i livelli di sorgente nelle frequenze in terzi di ottava comprese fra 10Hz e 25kHz, e il secondo esclude le bande in terzi di ottava al di sotto di 30 Hz per ridurre l'effetto introdotto artificialmente dal flusso dell'idrofono. Di fatto i raggi di impatto molto estesi riscontrati al di sotto della soglia L_P di 120 dB re 1 μ Pa si potrebbero ascrivere alla lunga propagazione delle frequenze molto basse, ma poiché i livelli elevati registrati a tali frequenze sono causati dal rumore stesso del sistema di acquisizione, essi non sono rappresentativi dell'emissione sonora dal terminale. Una discussione simile si può fare per i toni a ~300 e ~700 Hz discussi in sezione 4.1, che come mostra la Figura 21 appaiono propagarsi fino a grandi distanze ma con tutta probabilità sono artefatti del sistema di registrazione.

La propagazione di ogni banda decedecade su una distanza di 10km è rappresentata nella Figura 21; questa mostra come per tutte quattro le stagioni, le frequenze più impattanti sono quelle al di sotto dei 30 Hz e quelle relative ai due picchi compresi tra i 100 e i 1000 Hz, che, soprattutto per le stagioni A22, I23, P23 presentano valori maggiori di 105dB ancora a distanze superiori a 10km. La stagione che presenta le maggiori distanze d'impatto appare essere A22, e la minore E23;

I risultati che escludono le frequenze al di sotto dei 30 Hz sono più rappresentativi delle emissioni del terminale, pertanto tali risultati sono stati considerati nell'analisi dell'impatto sui mammiferi.

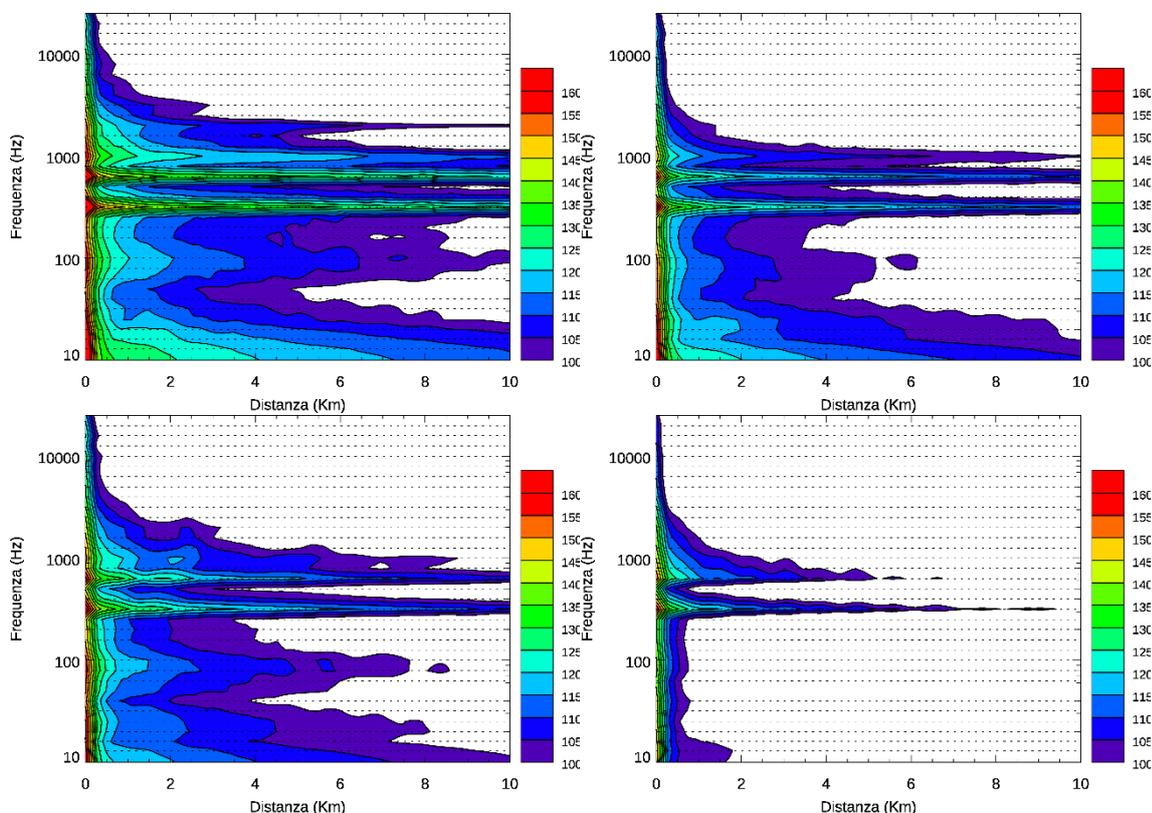


Figura 21. Diagramma che mostra la distanza (limitata a 10km) lungo la quale le singole bande di frequenza in terzi di ottava si propagano. Queste sono presentate in ordine per ogni stagione: A22 in alto a sinistra, I23 in alto a destra, P23 in basso a sinistra e E23 in basso a destra.

Le mappe (Figure 22-25) mostrano che la propagazione avviene in una direzione preferenziale, cioè verso ovest, seguendo la batimetria dell'area. Verso la zona costiera, l'acqua diventa poco profonda e induce una diminuzione rapida del suono. Inoltre, l'isola di Gorgona, a sud-ovest del terminale FSRU Toscana, costituisce una barriera acustica naturale.

Le distanze di impatto $R_{95\%}$ sono comprese fra i 9 e i 112 km per L_P di 100 dB re 1 μPa (valore inferiore dell'insorgenza della soglia comportamentale per i cetacei a bassa frequenza secondo Borsani e Farchi, 2011). Per A22 e P23 rispetto a questa soglia non si nota una grande riduzione nei valori filtrati in quanto i livelli di sorgente (Figura 20) contengono, oltre ai picchi caratteristici tra 100 e 1000 Hz anche altri picchi di frequenza sotto i 100 Hz che si propagano a grande distanza (Tabella 9).

Le distanze di impatto $R_{95\%}$ sono comprese fra i 4.7 e i 109 km per L_P di 110 dB re 1 μPa (valore inferiore dell'insorgenza della soglia comportamentale per i cetacei a media frequenza secondo Borsani e Farchi, 2011) per i livelli di sorgente non filtrati.

I livelli L_P cadono al di sotto della soglia di 140 dB re 1 μPa (valore inferiore dell'insorgenza della soglia comportamentale per i cetacei alta frequenza secondo Borsani e Farchi, 2011) entro al massimo 1.7 km dalla sorgente (A22).

Per tutte le stagioni, in particolare A22, la soglia L_P di 100 dB re 1 μ Pa viene ecceduta a grandi distanze dalla sorgente principalmente nella direzione ovest, mentre nelle altre tre direzioni cardinali questo raggio di impatto è notevolmente ridotto. Osservando inoltre i grafici a sezione verticale (Figure 26-29) che mostrano la distribuzione del suono nella colonna d'acqua nella direzione di propagazione preferenziale, si nota come il suono non sia uniformemente distribuito su tutta la profondità ma possa essere concentrato in zone limitate. Anche tenendo conto della presenza di un livello di rumore di fondo ambientale fino a L_P di 110 dB re 1 μ Pa, i raggi effettivi di impatto come eccedenza di tale sottofondo non si riducono in modo significativo, ad eccezione della stagione E23 (Figure 22-25).

Tabella 9. Distanze corrispondenti alle soglie di impatto comportamentale per i diversi gruppi di mammiferi marini. I valori riportati solo per il 95° percentile; i raggi massimi sono riportanti in Appendice E.

L_P non ponderato (dB re 1 μ Pa)	A22		I23		P23		E23	
	Dec-22		Mar-23		May-23		Sep-23	
	R95 (km) 10Hz- 25kHz	R95 (km) 30Hz- 25kHz						
170	-	-	-	-	-	-	-	-
160	0.1	0.1	-	-	-	-	-	-
150	0.5	0.5	0.1	0.1	0.1	0.1	-	-
140 ¹	1.7	1.6	0.3	0.3	0.4	0.4	0.2	0.2
130	7.7	7.7	1.4	1.2	1.7	1.6	0.6	0.6
120	31.5	30.9	7.7	5.4	5.0	4.5	1.5	1.5
110 ²	108.7	108.7	43.6	24.2	15.5	10.9	4.7	4.7
100 ³	112.5	112.5	133.6	108.9	106.8	68.7	9.0	9.0

- 1: soglia di eccedenza per il disturbo comportamentale dei cetacei di alta frequenza (secondo la nomenclatura definita in (Borsani and Farchi 2011)).
- 2: soglia di eccedenza per il disturbo comportamentale dei cetacei di media frequenza (secondo la nomenclatura definita in (Borsani and Farchi 2011)) e per i pinnipedi focidi in acqua
- 3: soglia inferiore di eccedenza per il disturbo comportamentale dei cetacei di bassa frequenza (secondo la nomenclatura definita in (Borsani and Farchi 2011))

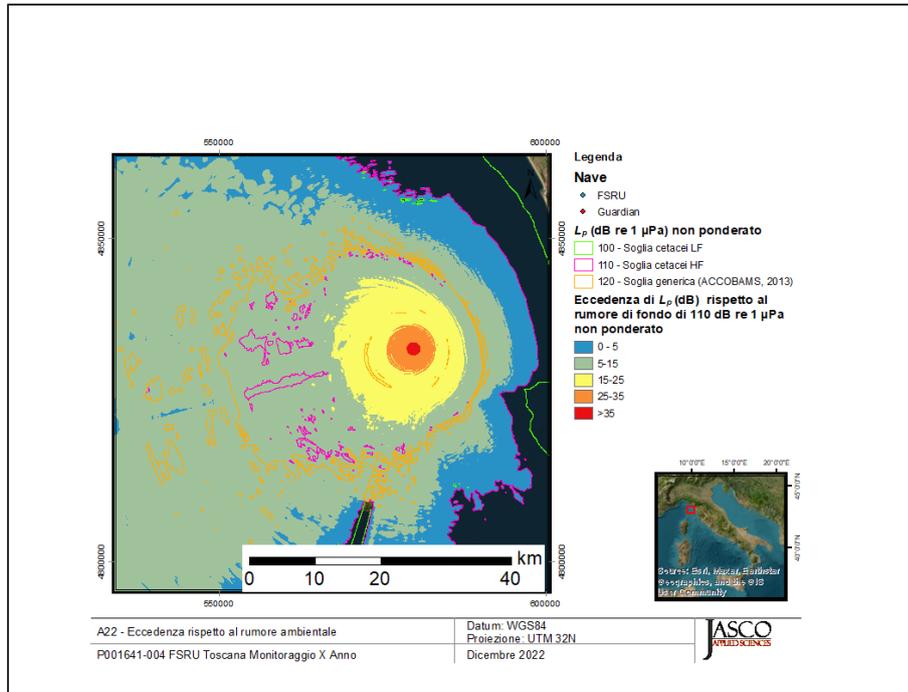


Figura 22. Stagione A22 2022-12: Mappa della zona di eccedenza di varie soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini e rispetto al rumore di fondo; risultati ottenuti escludendo le frequenze al di sotto di 30Hz.

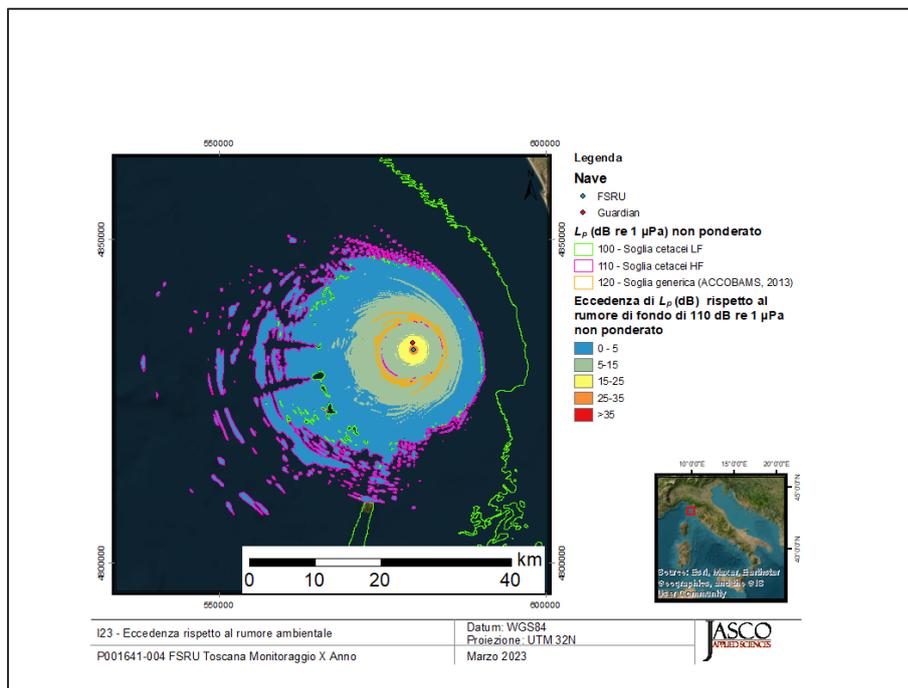


Figura 23. Stagione I23 2023-03: Mappa della zona di eccedenza di varie soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini e rispetto al rumore di fondo; risultati ottenuti escludendo le frequenze al di sotto di 30Hz.

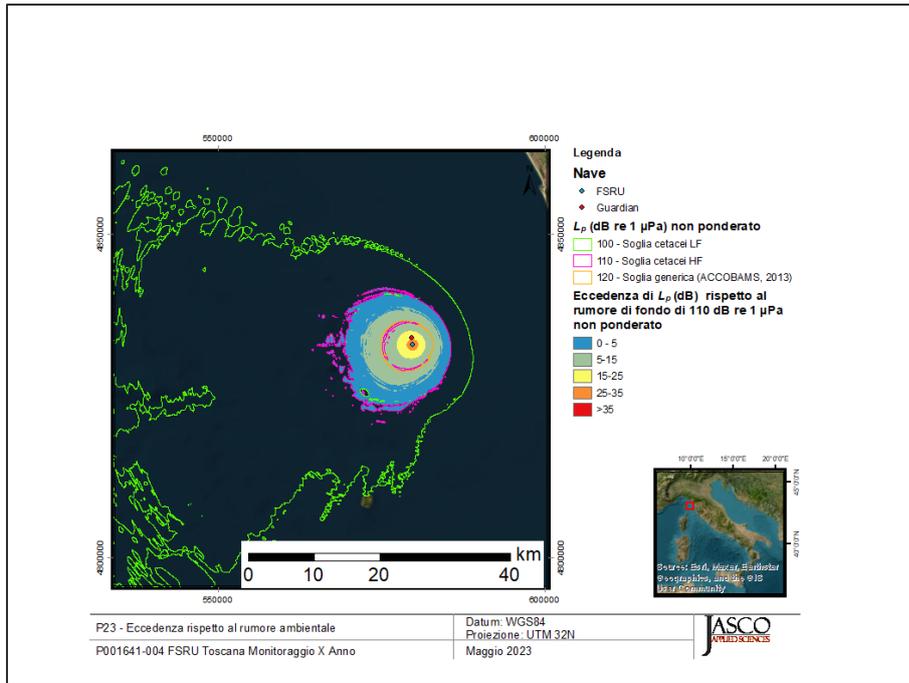


Figura 24. Stagione P23 2023-05: Mappa della zona di eccedenza di varie soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini e rispetto al rumore di fondo; risultati ottenuti escludendo le frequenze al di sotto di 30Hz.

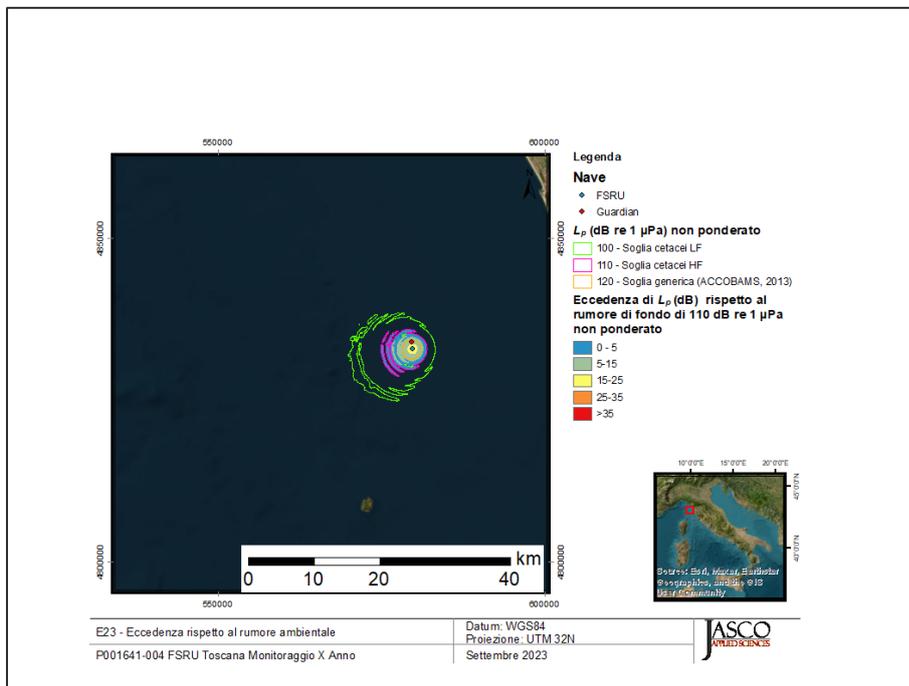


Figura 25. Stagione E23 2023-09: Mappa della zona di eccedenza di varie soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini e rispetto al rumore di fondo; risultati ottenuti escludendo le frequenze al di sotto di 30Hz.

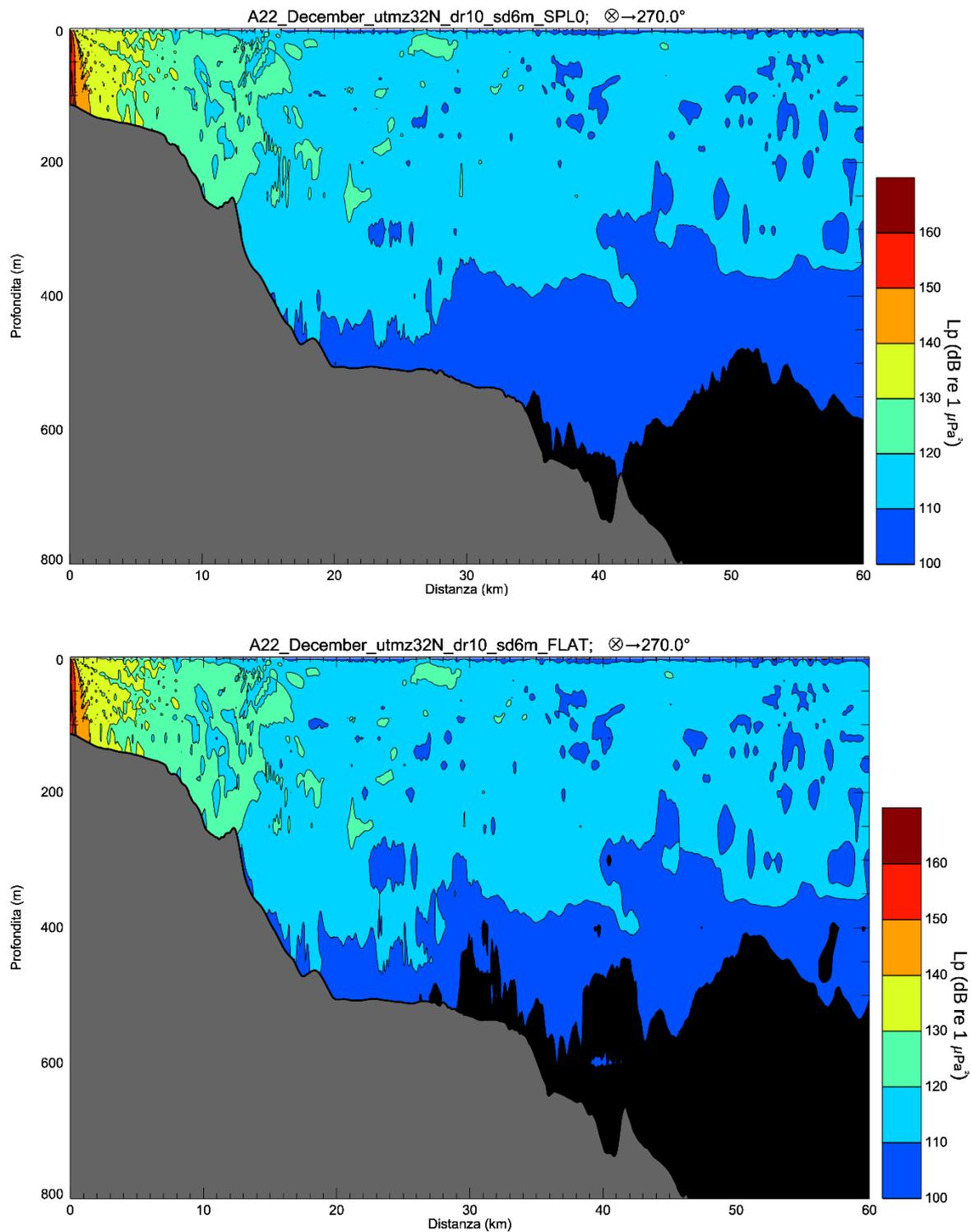


Figura 26. Stagione A22 2022-12: Sezione trasversale per la direzione di maggiore propagazione del suono (azimut 270°), includendo tutte le frequenze (in alto) e filtrando le frequenze sotto i 30 Hz (in basso).

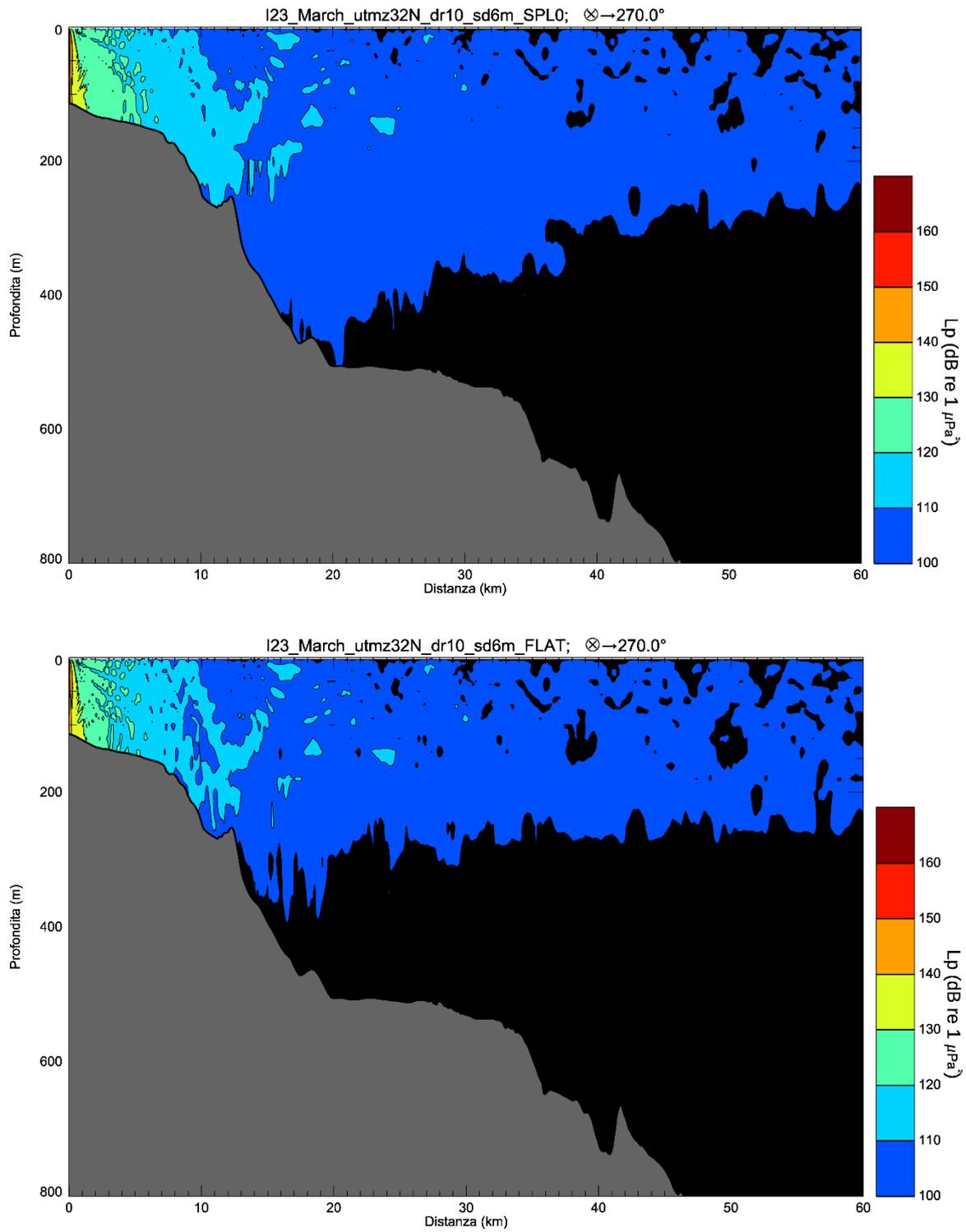


Figura 27. Stagione I23 2023-03: Sezione trasversale per la direzione di maggiore propagazione del suono (azimut 270°), includendo tutte le frequenze (in alto) e filtrando le frequenze sotto i 30 Hz (in basso).

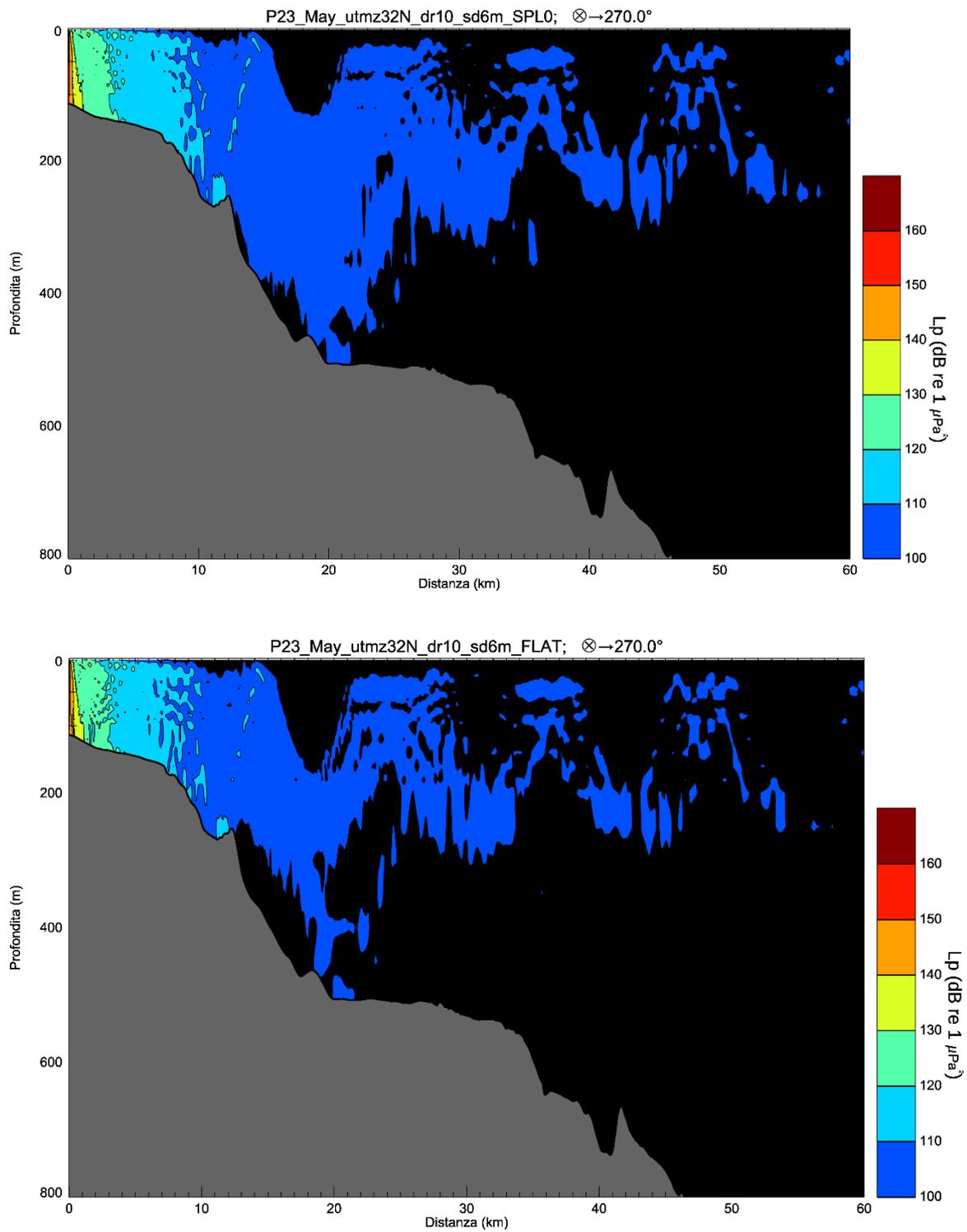


Figura 28. Stagione P23 2023-05: Sezione trasversale per la direzione di maggiore propagazione del suono (azimut 20°), includendo tutte le frequenze (in alto) e filtrando le frequenze sotto i 30 Hz (in basso).

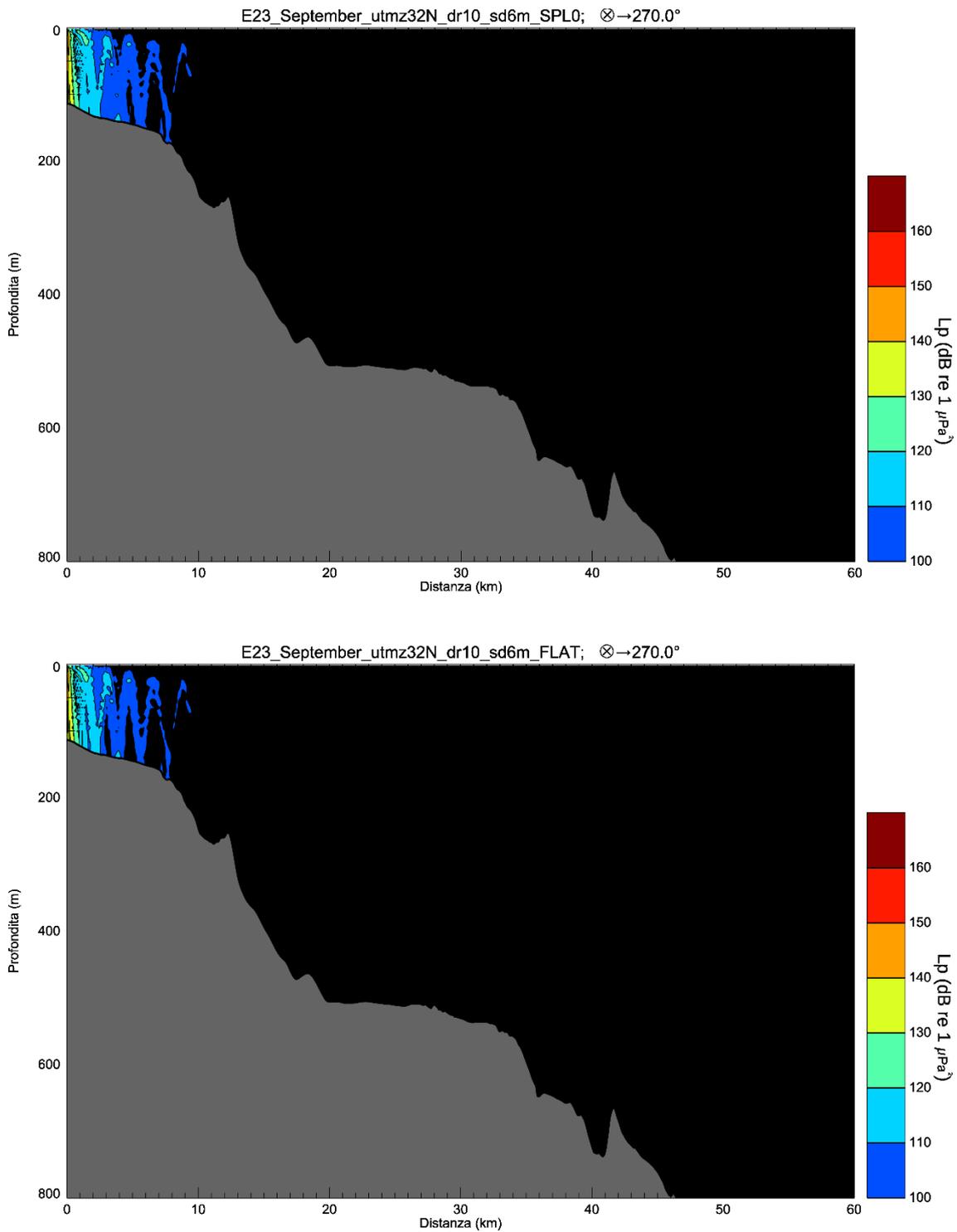


Figura 29. Stagione E23 2023-09: Sezione trasversale per la direzione di maggiore propagazione del suono (azimut 270°), includendo tutte le frequenze (in alto) e filtrando le frequenze sotto i 30 Hz (in basso).

5. Discussione e conclusioni

Lo scopo di questo studio è di presentare i livelli sonori misurati in quattro campagne di registrazione durante le operazioni standard del terminale FSRU Toscana nel nono anno di monitoraggio, ottenere i relativi livelli di sorgente tramite retro-propagazione dei livelli ricevuti sino a 1 metro dalla sorgente, ed infine determinare le distanze di impatto sui mammiferi marini per queste attività. Il monitoraggio è eseguito con frequenza stagionale in ottemperanza col piano di monitoraggio dell'ambiente marino. Di conseguenza, i dati acustici sul rumore subacqueo sono stati acquisiti per ogni stagione dell'anno a partire dall'autunno 2022 fino all'estate 2023 inclusi (A22, I23, P23, E23).

Nel corso delle quattro campagne non sono state apportate modifiche nella metodologia di acquisizione dei dati acustici. I dati sono stati registrati nelle quattro direzioni cardinali a tre distanze dal terminale FSRU: 100m, 1km e 10km. Ad ogni distanza sono state effettuate registrazioni per 10 minuti complessivi a ciascuna di due profondità (8m e 55m), utilizzando due diversi canali di acquisizione ("a" e "b") ma un solo idrofono, quindi in maniera consecutiva.

Come si vede dalla Figura 31, durante le campagne di monitoraggio soltanto tre delle quattro turbine a vapore del FSRU sono state attive: due da 3.35MW (TG1 e TG2) e una da 10 MW (TG3). Ciascuna turbina ha prodotto una quantità di energia pressoché identica in ciascuna delle campagne. Ciò non spiega quindi la notevole differenza tra le intensità dei picchi presenti negli spettrogrammi in sezione 4.1, soprattutto paragonando le stagioni A22 e E23, come mostrato in Figura 17 e Figura 18.

Durante tutte le stagioni è possibile osservare toni continui con fino a 4 o 5 armoniche associati a rumore elettronico nel sistema di registrazione, che talvolta mascherano tonalità acustiche generate dalle attività dei generatori e delle turbine del terminale. I livelli di sorgente calcolati includono picchi di frequenze che non sono dovuti alle operazioni del terminale ma al processo di acquisizione dei dati acustici; questi picchi non possono però essere esclusi dall'analisi in quanto concomitanti ad altre frequenze di rilievo.

Un'analisi dettagliata dei sistemi in operazione sul terminale è stata effettuata per poter stabilire se la differenza nei livelli spettrali sia riconducibile a una o più sorgenti a bordo del terminale. Lo stato di attivazione ed il consumo (Figura 30) e la produzione (Figura 31) di energia di pompe, turbine e generatori non appaiono indicare differenze stagionali considerevoli nel funzionamento del terminale. Un'eccezione che si riscontra riguarda l'attività della pompa di mare SW4 che risulta essere in funzione quasi esclusivamente durante la campagna P23.

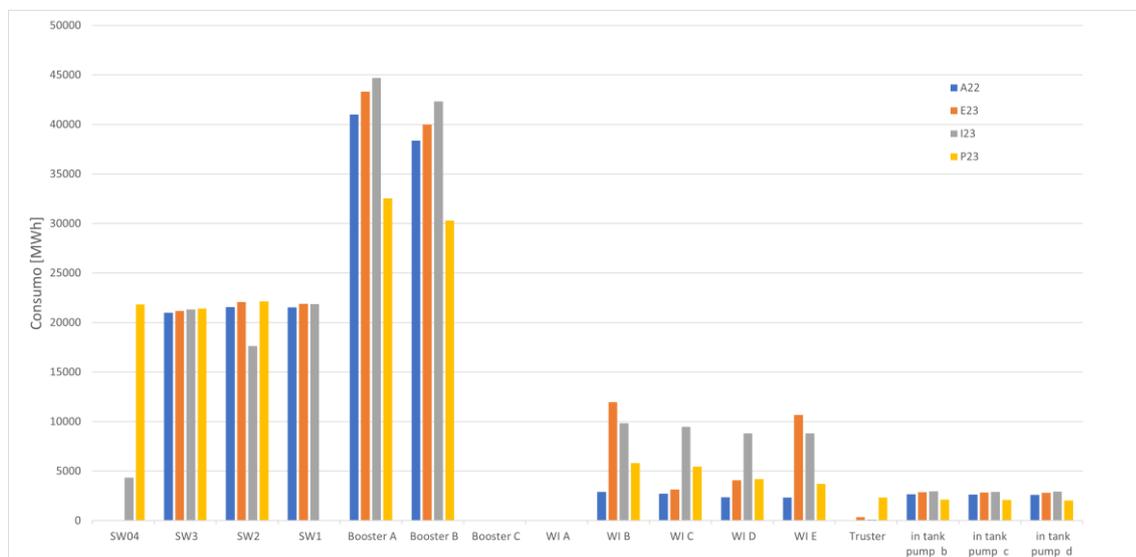


Figura 30. Consumo energetico medio a bordo dell'FSRU Toscana durante i giorni di monitoraggio. SW= pompa d'acqua di mare, WI= Wobbe index.

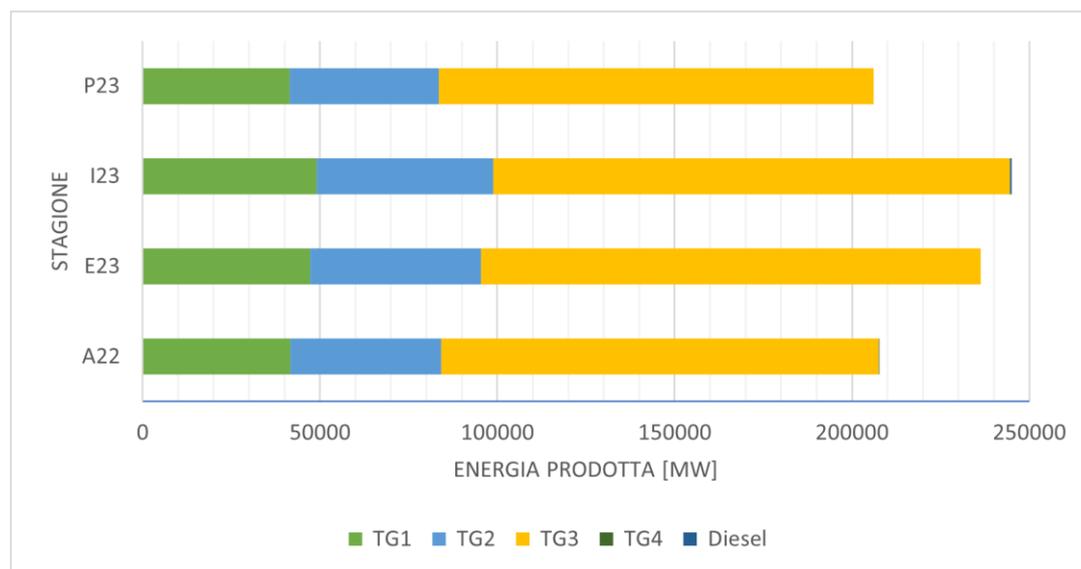


Figura 31. Produzione di energia media per i giorni di monitoraggio registrata a bordo dell'FSRU Toscana per ogni turbina a vapore per il generatore diesel (quest'ultimo è stato attivato solo qualche ora durante I23).

Le sorgenti riscontrate nelle registrazioni sono tutte di tipo continuo, come definito nella MSFD. Gli indicatori del Descrittore 11 Criterio 2 (D11C2) della MSFD sono le bande in terzi di ottava centrate intorno alle frequenze di 63 Hz e 125 Hz, alle quali il terminale contribuisce.

Non sono state rilevate differenze sostanziali nei livelli ricevuti in base alla direzione di monitoraggio. Inoltre, dato il fatto che i dati a una certa distanza dalla sorgente in diverse direzioni sono ottenuti a tempi diversi e talvolta separati da giorni, è difficile trarre conclusioni sulla direttività dei livelli sorgente e della propagazione del segnale.

La stagione A22 presenta distanze d'impatto considerevolmente maggiori delle altre, sebbene non si riscontrino particolari differenze operative del terminale tra le stagioni. Un esame dettagliato del registro della produzione e del consumo di energia a bordo ha rivelato che durante le quattro campagne (A22, I23, P23 e E23) il terminale operava nella stessa modalità e il funzionamento dei macchinari era pressoché identico, con l'utilizzo dei compressori Wobbe index, delle due turbine a vapore minori (3.35MW/h) e di una più grande (10MW/h). Un fattore che contraddistingue la campagna A22 rispetto alle altre sono le condizioni del mare durante l'acquisizione dei dati, con un'altezza d'onda di più di un metro mentre le altre furono condotte a mare calmo. Si può presumere che misure acustiche effettuate da una piccola imbarcazione in mare mosso siano soggette a maggiore rumore di fondo tanto ambientale che dovuto al moto dell'idrofono nella colonna d'acqua, rendendo quindi i risultati meno affidabili e probabilmente sovrastimando i livelli sonori.

Sebbene non siano reperibili nella letteratura scientifica studi del rumore ambientale per la zona specifica del terminale, un recente studio presentato per il mar Adriatico (Sertlek 2021) ha mostrato che livelli oltre i 120 dB re 1 μ Pa L_p (10Hz-10kHz) sono raggiunti nelle medie mensili in zone con traffico navale paragonabile all'area dell'FSRU, che è situato fra importanti rotte di navigazione. Un altro studio condotto al largo del nord-est della Corsica (Magnier and Gervaise 2020) ha riportato livelli di sottofondo che eccedono regolarmente l'L_p di 100 dB re 1 μ Pa, e raggiungono L_p di circa 110 dB re 1 μ Pa nella banda 100Hz-30kHz nel mese di luglio, in presenza di rotte di navigazione la cui densità di traffico è paragonabile a quella limitrofa al terminale FSRU Toscana. È plausibile che il livello a banda larga del rumore di fondo nella regione circostante l'FSRU possa essere anche superiore se si includono le frequenze al di sotto dei 100Hz che sono prominenti nel rumore delle navi.

Glossario

Se non diversamente indicato in una voce, queste definizioni sono coerenti con ISO 80000-3 (2017a).

1/3-ottava

Un terzo di ottava. Nota: un terzo di ottava è approssimativamente uguale a un decidecade ($1/3 \text{ oct} \approx 1.003 \text{ ddec}$).

1/3-banda-di-ottava

Banda di frequenza la cui larghezza di banda è un terzo di ottava. Nota: la larghezza di banda di una banda di un terzo d'ottava aumenta con l'aumento della frequenza centrale.

90%-energia nella finestra temporale

L'intervallo di tempo durante il quale l'energia cumulativa aumenta dal 5 al 95% dell'energia totale dell'impulso. Questo intervallo contiene il 90% dell'energia totale dell'impulso. Simbolo T_{90} .

90% livello di pressione sonora (90% L_p)

Il livello di pressione sonora calcolato sulla finestra temporale del 90% di energia di un impulso.

analisi manuale

Esame umano dei dati acustici tramite revisione visiva degli spettrogrammi e/o ispezione uditiva dei dati.

armonica

Componente sonora sinusoidale che ha una frequenza che è un multiplo intero della frequenza di un suono a cui è correlato. Ad esempio, la seconda armonica di un suono ha una frequenza doppia della frequenza fondamentale del suono.

assorbimento

La riduzione dell'ampiezza della pressione acustica dovuta all'energia del movimento delle particelle acustiche che si converte in calore nel mezzo di propagazione.

attenuazione

La graduale perdita di energia acustica per assorbimento e diffusione mentre il suono si propaga attraverso un mezzo.

banda di decidecade band

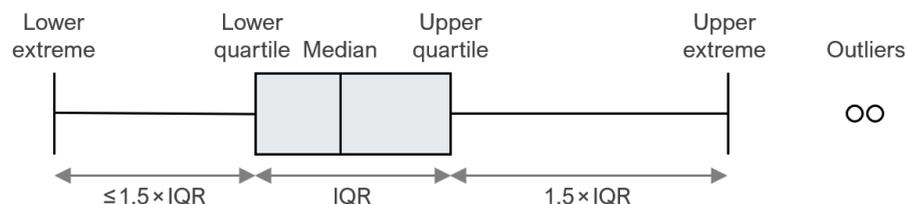
Banda di frequenza la cui larghezza di banda è un deciso. Nota: la larghezza di banda di una banda decidecade aumenta con l'aumentare della frequenza centrale.

bar

Unità di pressione pari a 100 kPa, che è approssimativamente uguale alla pressione atmosferica sulla Terra al livello del mare. 1 bar è uguale a 105 Pa o 10^{11} μPa .

box-and-whisker grafico

Un grafico che illustra il centro, la diffusione e la gamma complessiva di dati da un riepilogo visivo di 5 numeri. Il riquadro è l'intervallo interquartile (IQR), che mostra il 50% centrale dei dati, dal quartile inferiore (25esimo percentile) al quartile superiore (75esimo percentile). La linea all'interno della casella è la mediana (50° percentile). I baffi mostrano gli estremi inferiore e superiore esclusi i valori anomali, che sono punti dati che cadono più di $1,5 \times \text{IQR}$ oltre i quartili superiore e inferiore.



campo sonoro

Regione contenente onde sonore.

cavitazione

Una rapida formazione e collasso di cavità di vapore (cioè bolle o vuoti) nell'acqua, il più delle volte causati da un rapido cambiamento di pressione. Le eliche delle navi a rotazione rapida in genere causano la cavitazione, che crea molto rumore.

cetaceo

Qualsiasi animale nell'ordine Cetacea. Queste sono specie acquatiche e includono balene, delfini e focene.

conductivity-temperature-depth (CTD)

Dati di misurazione della conduttività, della temperatura e della profondità dell'oceano; utilizzato per calcolare la velocità e la salinità del suono.

contorno di uguale volume

Curva che mostra, in funzione della frequenza, il livello di pressione sonora richiesto per produrre un dato volume per un ascoltatore con udito normale, ascoltando un determinato tipo di suono in un modo specificato (ANSI S1.1-2013).

decade

Intervallo di frequenza logaritmico il cui limite superiore è dieci volte maggiore del suo limite inferiore (ISO 80000-3:2006).

decibel (dB)

Unità di livello utilizzata per esprimere il rapporto tra un valore di una grandezza di potenza e un altro su scala logaritmica. Unità: dB.

decidecade

Un decimo di decennio. Nota: un nome alternativo per decidecade (simbolo ddec) è "un decimo decennio". Un decidecade è approssimativamente uguale a un terzo di ottava ($1 \text{ ddec} \approx 0,3322 \text{ ott}$) e per questo motivo viene talvolta chiamato "terzo d'ottava".

energia livello di sorgente

Proprietà di una sorgente sonora ottenuta sommando al livello di esposizione sonora misurato nel campo lontano la perdita di propagazione dal centro acustico della sorgente alla posizione del ricevitore. Unità: decibel (dB). Valore di riferimento: $1 \mu\text{Pa}^2\text{m}^2\text{s}$.

Energie densità spettrale

Rapporto tra energia (quadrato integrato nel tempo di una variabile di campo specificata) e larghezza di banda in una banda di frequenza specificata f_1 a f_2 . In forma di equazione, la densità spettrale di energia E_f è dato da:

$$E_f = \frac{2 \int_{f_1}^{f_2} |X(f)|^2 df}{f_2 - f_1},$$

dove $X(f)$ è la trasformata di Fourier della variabile $x(t)$

$$X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \exp(-2\pi i f t) dt.$$

La variabile $x(t)$ è una quantità scalare, come la pressione sonora. Può anche essere la grandezza o un componente specificato di una quantità vettoriale come lo spostamento delle particelle sonore, la velocità delle particelle sonore o l'accelerazione delle particelle sonore. L'unità di densità spettrale di energia dipende dalla natura di x , come segue:

- If x = pressione sonora: $\text{Pa}^2 \text{ s/Hz}$
- If x = spostamento delle particelle sonore: $\text{m}^2 \text{ s/Hz}$
- If x = velocità delle particelle sonore: $(\text{m/s})^2 \text{ s/Hz}$
- If x = accelerazione delle particelle sonore: $(\text{m/s}^2)^2 \text{ s/Hz}$

Il fattore due a destra dell'equazione per E_f è necessario per esprimere uno spettro simmetrico rispetto a $f = 0$, solo in termini di frequenze positive. Vedi voce 3.1.3.9 of ISO 18405 (2017a).

esposizione sonora

Integrale temporale della pressione sonora al quadrato in un intervallo di tempo stabilito. L'intervallo di tempo può essere una durata specificata (ad es. 24 ore) o dall'inizio alla fine di un evento specificato (ad es. un colpo di palo, un impulso di fucile ad aria compressa, un'operazione di costruzione).

Unità: $\text{Pa}^2 \text{ s}$.

far field

La zona in cui, ad un osservatore, il suono proveniente da una serie di sorgenti (o una sorgente distribuita nello spazio) sembra irradiarsi da un singolo punto.

focidi

Un termine comune usato per descrivere tutti i membri della famiglia Phocidae. Queste foche vere/senza orecchie sono più adatte alla vita in acqua rispetto agli otariidi, che hanno adattamenti più terrestri. I focidi usano le pinne posteriori per spingersi. I focidi sono uno dei tre gruppi principali della superfamiglia Pinnipedia; gli altri due gruppi sono otariidi e trichechi.

frequenza

La velocità di oscillazione di una funzione periodica misurata in cicli per unità di tempo. Il reciproco del periodo. Unità: hertz (Hz). Simbolo: f . 1 Hz è uguale a 1 ciclo al secondo.

funzione di ponderazione della frequenza

L'ampiezza al quadrato della funzione di trasferimento della pressione sonora. Per il suono di una data frequenza, la funzione di ponderazione della frequenza è il rapporto tra la potenza in uscita e la potenza in ingresso di un filtro specificato, talvolta espresso in decibel. Gli esempi includono quanto segue:

Funzione di ponderazione della frequenza uditiva: funzione di ponderazione della frequenza compensativa che tiene conto della sensibilità uditiva specifica della frequenza di una specie (o di un gruppo uditivo funzionale).

Funzione di ponderazione della frequenza del sistema: funzione di ponderazione della frequenza che descrive la sensibilità di un sistema di acquisizione acustica, tipicamente costituito da un idrofono, uno o più amplificatori e un convertitore analogico-digitale.

funzione di ponderazione della frequenza uditiva

Funzione di ponderazione della frequenza che descrive un approccio compensatorio che tiene conto della sensibilità uditiva specifica della frequenza di una specie (o di un gruppo uditivo funzionale). Esempi di gruppi udenti sono i cetacei a bassa, media e alta frequenza, i pinnipedi focidi e otariidi.

geoacustica

Relativo alle proprietà acustiche del fondale marino.

Global Positioning System (GPS)

Un sistema di navigazione satellitare che fornisce informazioni accurate sulla posizione e sull'ora in tutto il mondo.

gruppo uditivo

Categoria di specie animali se classificate in base alla loro sensibilità uditiva e alla suscettibilità al suono. Esempi di mammiferi marini includono cetacei a frequenza molto bassa (VLF), cetacei a bassa frequenza (LF), cetacei a media frequenza (MF), cetacei ad alta frequenza (HF), cetacei ad altissima frequenza (VHF), pinnipedi otariidi in acqua (OPW), pinnipedi focidi in acqua (PPW), sireniani (SI), altri carnivori marini nell'aria (OCA) e altri carnivori marini nell'acqua (OCW) (NMFS 2018, Southall et al. 2019). Vedi **funzione di ponderazione della frequenza**, che sono spesso applicate a questi gruppi. Esempi di pesci includono specie per le quali la vescica natatoria è coinvolta nell'udito, specie per le quali la vescica natatoria non è coinvolta nell'udito e specie senza vescica natatoria (Popper et al. 2014).

hertz (Hz)

Un'unità di frequenza definita come un ciclo al secondo.

high-frequency (HF) cetacean

vedi gruppo uditivo

idrofono

Un trasduttore di pressione sonora subacqueo. Un dispositivo elettronico passivo per la registrazione o l'ascolto del suono subacqueo.

Impedenza acustica

Il rapporto tra la pressione sonora in un mezzo e la portata in volume del mezzo attraverso una superficie specificata a causa dell'onda sonora.

insonificato

esposto a un suono.

intensità sonora

Prodotto della pressione sonora e della velocità delle particelle sonore. La grandezza dell'intensità sonora è l'energia sonora che fluisce attraverso un'area unitaria perpendicolare alla direzione di propagazione per unità di tempo.

isopleto

Una linea tracciata su una mappa attraverso tutti i punti aventi lo stesso valore di una certa quantità.

larghezza di banda

La gamma di frequenze su cui si verifica un suono. La banda larga si riferisce a una sorgente che produce suoni su un'ampia gamma di frequenze (ad esempio, fucili ad aria compressa sismici, navi) mentre le sorgenti a banda stretta producono suoni su una gamma di frequenze ristretta (ad esempio, sonar) (ANSI S1.13-2005 (R2010)).

livello

Una misura di una quantità espressa come logaritmo del rapporto tra la quantità e un valore di riferimento specificato di quella quantità. Gli esempi includono il livello di pressione sonora, il livello di esposizione al suono e il livello di pressione sonora di picco. Ad esempio, un valore del livello di esposizione sonora con riferimento a $1 \mu\text{Pa}^2 \text{ s}$ può essere scritto nella forma $x \text{ dB re } 1 \mu\text{Pa}^2 \text{ s}$.

livello a banda larga

Il livello totale misurato su un intervallo di frequenza specificato.

livello di esposizione sonora

Il livello (L_E) dell'esposizione sonora (E). Unità: decibel (dB). Valore di riferimento (E_0) per il suono in acqua: $1 \mu\text{Pa}^2 \text{ s}$.

$$L_E = 10 \log_{10}(E/E_0) \text{ dB} = 20 \log_{10}(E^{1/2}/E_0^{1/2}) \text{ dB}$$

È necessario specificare la banda di frequenza e il tempo di integrazione. Abbreviazione: SEL.

livello di pressione sonora (rms sound pressure level)

Il livello ($L_{p,rms}$) della pressione sonora quadratica media del tempo (p_{rms}^2). Unità: decibel (dB). Valore di riferimento (p_0^2) per il suono in acqua: $1 \mu\text{Pa}^2$.

$$L_{p,rms} = 10 \log_{10}(p_{rms}^2/p_0^2) \text{ dB} = 20 \log_{10}(p_{rms}/p_0) \text{ dB}$$

È necessario specificare la banda di frequenza e il tempo medio. Abbreviazione: L_p o L_{rms} .

livello di sorgente di densità spettrale di energia

Proprietà di una sorgente sonora ottenuta sommando al livello di densità spettrale di energia della pressione sonora misurata nel campo lontano la perdita di propagazione dal centro acustico della sorgente alla posizione del ricevitore. Unità: decibel (dB). Valore di riferimento: $1 \mu\text{Pa}^2 \text{ m}^2/\text{Hz}$.

livello di sorgente source level (SL)

Proprietà di una sorgente sonora ottenuta sommando al livello di pressione sonora misurato nel campo lontano la perdita di propagazione dal centro acustico della sorgente alla posizione del ricevitore. Unità: decibel (dB). Valore di riferimento: $1 \mu\text{Pa}^2 \text{ m}^2$.

livello ricevuto

Il livello misurato (o che verrebbe misurato) in una posizione definita. Il tipo di livello dovrebbe essere specificato.

low-frequency (LF) cetacean

vedi gruppo uditivo

lunghezza d'onda

Distanza sulla quale un'onda completa un ciclo di oscillazione. Unità: metro (m). Simbolo: λ .

mascheramento

Oscuramento di suoni di interesse da suoni a frequenze simili.

mediana

Il 50° percentile di una distribuzione statistica.

mid-frequency (MF) cetacean

vedi gruppo uditivo

misticete

Un sottordine di cetacei che utilizzano piastre di fanoni per filtrare il cibo dall'acqua. I membri di questo gruppo includono rorquals (*Balaenopteridae*), balene franche (*Balaenidae*) e balene grigie (*Eschrichtius robustus*).

M-weighting

Vedere la funzione di ponderazione della frequenza uditiva (as proposed by Southall et al. 2007).

nodo

Un miglio nautico all'ora. Simbolo: kn.

non ponderato

Termine che indica che non viene applicata alcuna funzione di ponderazione della frequenza.

odontocete

La presenza dei denti, più che dei fanoni, caratterizza queste balene. I membri degli Odontoceti sono un sottordine di cetacei, un gruppo composto da balene, delfini e focene. I crani delle balene dentate sono per lo più asimmetrici, un adattamento per la loro ecolocalizzazione. Questo gruppo comprende capodogli, orche, beluga, narvali, delfini e focene.

onda compressionale

Un'onda di vibrazione meccanica in cui la direzione del movimento delle particelle è parallela alla direzione di propagazione. Chiamata anche onda primaria o onda P.

onda di taglio

Un'onda di vibrazione meccanica in cui la direzione del movimento delle particelle è perpendicolare alla direzione di propagazione. Chiamata anche onda secondaria o onda S. Le onde di taglio si propagano solo in mezzi solidi, come sedimenti o roccia. Le onde di taglio nel fondo del mare possono essere convertite in onde di compressione nell'acqua all'interfaccia acqua-fondale.

otaridi

Un termine comune usato per descrivere i membri degli Otariidae, foche dalle orecchie, comunemente chiamate leoni marini e otarie da pelliccia. Gli otariidi sono adattati a una vita semiacquatica; usano le loro grandi pinne anteriori per la propulsione. Le loro orecchie li distinguono

dai focidi. Gli otariidi sono uno dei tre gruppi principali della superfamiglia Pinnipedia; gli altri due gruppi sono focidi e trichechi.

otariid pinnipeds in water (OPW)

vedi gruppo uditivo

other marine carnivores in air (OCA)

vedi gruppo uditivo

other marine carnivores in water (OCW)

vedi gruppo uditivo

ottava

L'intervallo tra un suono e un altro suono con doppia o metà della frequenza. Ad esempio, un'ottava sopra i 200 Hz è 400 Hz e un'ottava sotto i 200 Hz è 100 Hz.

permanent threshold shift (PTS)

Una perdita irreversibile della sensibilità uditiva causata da un'eccessiva esposizione al rumore. La PTS è considerata una lesione uditiva.

phocid pinnipeds in water (PPW)

vedi gruppo uditivo

pinnipede

Un termine comune usato per descrivere tutti e tre i gruppi che formano la superfamiglia Pinnipedia: focidi (veri foche o foche senza orecchie), otariidi (foche dalle orecchie o foche e leoni marini) e trichechi.

ponderazione della frequenza uditiva

Il processo di applicazione di una funzione di ponderazione della frequenza uditiva. Nell'audiometria umana, la ponderazione C è la funzione più comunemente utilizzata, un esempio per i mammiferi marini sono le funzioni di ponderazione della frequenza uditiva pubblicate da Southall et al. (2007).

ponderazione in frequenza

Il processo di applicazione di una funzione di ponderazione della frequenza.

pressione sonora

Il contributo alla pressione totale causato dall'azione del suono.

pressione, acustica

La deviazione dalla pressione ambiente causata da un'onda sonora. Chiamato anche pressione sonora. Unità: pascal (Pa).

pressione, idrostatica

La pressione a una data profondità in un liquido statico che è il risultato del peso del liquido che agisce su un'area unitaria a quella profondità, più qualsiasi pressione che agisce sulla superficie del liquido. Unità: pascal (Pa).

profilo di velocità del suono

La velocità del suono nella colonna d'acqua in funzione della profondità al di sotto della superficie dell'acqua.

propagation loss (PL)

Differenza fra un livello di sorgente (SL) e il livello in un luogo specificato, $PL(x) = SL - L(x)$. Vedi anche **transmission loss**.

rilevamento automatico

L'output di un rilevamento automatico.

rilevatore automatizzato

Un algoritmo che include sia il rilevamento automatico di un suono di interesse in base a come si distingue dallo sfondo, sia la sua classificazione automatizzata basata sulle somiglianze con i modelli in una libreria di segnali di riferimento.

rms

abbreviazione per root-mean-square.

rumore acustico

Suono che interferisce con un processo acustico.

rumore di sottofondo

Combinazione di suono ambientale, auto-rumore acustico e riverbero del sonar. Il suono ambientale rilevato, misurato o registrato con un segnale fa parte del rumore di fondo.

self-noise acustico

Suono in un ricevitore causato dall'installazione, dal funzionamento o dal ripristino di un ricevitore specifico e dalla sua piattaforma associata.

sorgente puntiforme

Una sorgente che irradia il suono come da un unico punto.

suono di sottofondo

Suono che sarebbe presente in assenza di un'attività specifica, di solito un composto di suoni provenienti da molte fonti vicine e lontane, ad esempio navi da trasporto, attività sismica, precipitazioni, movimento del ghiaccio marino, azione delle onde e attività biologica.

spettro

Un segnale acustico rappresentato in termini di potenza, energia, pressione sonora quadratica media o distribuzione dell'esposizione sonora con la frequenza.

spettrogramma

Una rappresentazione visiva dell'ampiezza acustica rispetto al tempo e alla frequenza.

suono

Un disturbo variabile nel tempo nella pressione, nella sollecitazione o nello spostamento del materiale di un mezzo propagato dalla compressione e dall'espansione locali del mezzo.

suono continuo

Un suono il cui livello di pressione sonora rimane al di sopra del suono ambientale durante il periodo di osservazione. Un suono che varia gradualmente di intensità nel tempo, ad esempio il suono di una nave marina.

suono impulsivo

Termine qualitativo che indica suoni che sono tipicamente transitori, brevi (meno di 1 secondo), a banda larga, con tempi di salita e decadimento rapidi. Possono verificarsi in ripetizione o come un singolo evento. Esempi di sorgenti sonore impulsive includono esplosivi, fucili ad aria compressa sismici e battipalo a impatto.

suono intermittente

Un suono il cui livello scende bruscamente al di sotto del livello del rumore di fondo più volte durante un periodo di osservazione.

suono non impulsivo

Suono che non è un suono impulsivo. Un suono non impulsivo non è necessariamente un suono continuo.

temporary threshold shift (TTS)

Perdita reversibile della sensibilità uditiva. Il TTS può essere causato dall'esposizione al rumore.

termoclino

L'intervallo di profondità vicino alla superficie dell'oceano che subisce gradienti di temperatura dovuti al riscaldamento o al raffreddamento per conduzione di calore dall'atmosfera e dal riscaldamento dovuto al riscaldamento solare.

transmission loss (TL)

La differenza tra un livello specificato in una posizione e quello in una posizione diversa, $TL(x1,x2) = L(x1) - L(x2)$. Vedi anche **propagation loss**.

Trasforme di Fourier (or sintesi di Fourier)

Una tecnica matematica che, sebbene abbia svariate applicazioni, viene citata nel contesto di questo rapporto come metodo utilizzato nel processo di derivazione di una stima dello spettro da dati di serie temporali (o il processo inverso, chiamato trasformata di Fourier inversa). Un algoritmo numerico efficiente dal punto di vista computazionale per il calcolo della trasformata di Fourier è noto come trasformata di Fourier veloce (FFT).

very high-frequency (VHF) cetacean

vedi gruppo uditivo

very low-frequency (VLF) cetacean

vedi gruppo uditivo

Letteratura citata

- [ACCOBAMS] Agreement for the Conservation of Cetaceans in the Black Sea, Mediterranean Sea and contiguous Atlantic area and [CMS] The Convention on the Conservation of Migratory Species of Wild Animals. 2013. *Anthropogenic noise and marine mammals: Review of the effort in addressing the impact of anthropogenic underwater noise in the ACCOBAMS and ASCOBANS areas*. Fifth Meeting of the Parties to ACCOBAMS, 5-8 Nov 2013. Document 22, Rev 1, Tangier. 61 p.
- [ACCOBAMS] Agreement for the Conservation of Cetaceans in the Black Sea, Mediterranean Sea and contiguous Atlantic area. 2020. *Guidelines to Address the Impact of Anthropogenic Noise on Cetaceans in the ACCOBAMS Area*. 12 p. https://accobams.org/wp-content/uploads/2020/05/GL_Impact_anthropogenic_noise.pdf.
- [ANSI] American National Standards Institute and [ASA] Acoustical Society of America. S1.1-2013. *American National Standard: Acoustical Terminology*. NY, USA. <https://webstore.ansi.org/Standards/ASA/ANSIASAS12013>.
- [ANSI] American National Standards Institute and [ASA] Acoustical Society of America. S1.13-2005 (R2010). *American National Standard: Measurement of Sound Pressure Levels in Air*. NY, USA. <https://webstore.ansi.org/Standards/ASA/ANSIASAS1132005R2010>.
- [ISO] International Organization for Standardization. 2006. *ISO 80000-3:2006. Quantities and units — Part 3: Space and time*. <https://www.iso.org/standard/31888.html>.
- [ISO] International Organization for Standardization. 2017a. *ISO 18405:2017. Underwater acoustics — Terminology*. Geneva. <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:62406:en>.
- [ISO] International Organization for Standardization. 2017b. *ISO 18406:2017(E). Underwater acoustics — Measurement of radiated underwater sound from percussive pile driving*. Geneva. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:18406:ed-1:v1:en>.
- [NMFS] National Marine Fisheries Service (US). 2018. *2018 Revision to: Technical Guidance for Assessing the Effects of Anthropogenic Sound on Marine Mammal Hearing (Version 2.0): Underwater Thresholds for Onset of Permanent and Temporary Threshold Shifts*. US Department of Commerce, NOAA. NOAA Technical Memorandum NMFS-OPR-59. 167 p. [https://media.fisheries.noaa.gov/dam-migration/tech_memo_acoustic_guidance_\(20\)_pdf_508.pdf](https://media.fisheries.noaa.gov/dam-migration/tech_memo_acoustic_guidance_(20)_pdf_508.pdf).
- [NRC] National Research Council (US). 2003. *Ocean Noise and Marine Mammals*. National Research Council (US), Ocean Studies Board, Committee on Potential Impacts of Ambient Noise in the Ocean on Marine Mammals. The National Academies Press, Washington, DC, USA. <https://doi.org/10.17226/10564>.
- Ainslie, M.A. and J.G. McColm. 1998. A simplified formula for viscous and chemical absorption in sea water. *Journal of the Acoustical Society of America* 103(3): 1671-1672. <https://doi.org/10.1121/1.421258>.
- Ainslie, M.A., J.L. Miksis-Olds, S.B. Martin, K.D. Heaney, C.A.F. de Jong, A.M. von Benda-Beckmann, and A.P. Lyons. 2018. *ADEON Underwater Soundscape and Modeling Metadata Standard*. Version 1.0. Technical report by JASCO Applied Sciences for ADEON Prime Contract No. M16PC00003. 35 p. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.6792359.v2>.
- Ainslie, M.A., S.B. Martin, K.B. Troncone, D.E. Hannay, J.M. Eickmeier, T.J. Deveau, K. Lucke, A.O. MacGillivray, V. Nolet, and P. Borys. 2022. International harmonization of procedures for measuring and analyzing of vessel underwater radiated noise. *Marine Pollution Bulletin* 174: 113124. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113124>.
- Au, W.W.L., R.A. Kastelein, T. Rippe, and N.M. Schooneman. 1999. Transmission beam pattern and echolocation signals of a harbor porpoise (*Phocoena phocoena*). *Journal of the Acoustical Society of America* 106(6): 3699-3705. <https://doi.org/10.1121/1.428221>.
- Borsani, J.F. and C. Farchi. 2011. *Linee guida per lo studio e la regolamentazione del rumore di origine antropica introdotto in mare e nelle acque interne:: 2a Parte*. 36 p.

- Carnes, M.R. 2009. *Description and Evaluation of GDEM-V 3.0*. US Naval Research Laboratory, Stennis Space Center, MS. NRL Memorandum Report 7330-09-9165. 21 p. <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a494306.pdf>.
- Clark, C.W. 1990. Acoustic behaviour of mysticete whales. In Thomas, J.A. and R.A. Kastelein (eds.). *Sensory Abilities of Cetaceans*. Springer, Boston, MA. pp. 571-583. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-0858-2_40.
- Coppens, A.B. 1981. Simple equations for the speed of sound in Neptunian waters. *Journal of the Acoustical Society of America* 69(3): 862-863. <https://doi.org/10.1121/1.382038>.
- Deane, G.B. 2000. Long time-base observations of surf noise. *Journal of the Acoustical Society of America* 107(2): 758-770. <https://doi.org/10.1121/1.428259>.
- Edds-Walton, P.L. 1997. Acoustic communication signals of mysticetes whales. *Bioacoustics* 8(1-2): 47-60. <https://doi.org/10.1080/09524622.1997.9753353>.
- EMODnet Bathymetry Consortium. 2020. *EMODnet Digital Bathymetry (DTM)* (webpage). EMODnet Bathymetry Consortium. <https://doi.org/10.12770/18ff0d48-b203-4a65-94a9-5fd8b0ec35f6>.
- European Commission. 2017. Commission Decision 2017/848/EU of 17 May 2017 laying down criteria and methodological standards on good environmental status of marine waters and specifications and standardised methods for monitoring and assessment, and repealing Decision 2010/477/EU. *Official Journal of the European Union* L125/43. <http://data.europa.eu/eli/dec/2017/848/oj>.
- Finneran, J.J. 2015. *Auditory weighting functions and TTS/PTS exposure functions for cetaceans and marine carnivores*. Technical report by SSC Pacific, San Diego, CA, USA.
- Finneran, J.J. 2016. *Auditory weighting functions and TTS/PTS exposure functions for marine mammals exposed to underwater noise*. Technical Report for Space and Naval Warfare Systems Center Pacific, San Diego, CA, USA. 49 p. <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/1026445.pdf>.
- Fisher, F.H. and V.P. Simmons. 1977. Sound absorption in sea water. *Journal of the Acoustical Society of America* 62(3): 558-564. <https://doi.org/10.1121/1.381574>.
- Gomez, C., J.W. Lawson, A.J. Wright, A.D. Buren, D.J. Tollit, and V. Lesage. 2016. A systematic review on the behavioural responses of wild marine mammals to noise: The disparity between science and policy. *Canadian Journal of Zoology* 94(12): 801-819. <https://doi.org/10.1139/cjz-2016-0098>.
- MacGillivray, A.O., S.B. Martin, Ainslie M.A. , Dolman J.N. , Li Z., Warner G.A. , Lawrence C.B., Pace F. , Schuster M. , and W. D. 2022. *Towards a Standard for Vessel URN Measurement in Shallow Water*. Document 02427. Technical report by JASCO Applied Sciences for Transport Canada Innovation Centre. .
- Magnier, C. and C. Gervaise. 2020. Acoustic and photographic monitoring of coastal maritime traffic: Influence on the soundscape. 147(6): 3749-3757. <https://asa.scitation.org/doi/abs/10.1121/10.0001321>.
- Martin, S.B., C. Morris, K.C. Bröker, and C. O'Neill. 2019. Sound exposure level as a metric for analyzing and managing underwater soundscapes. *Journal of the Acoustical Society of America* 146(1): 135-149. <https://doi.org/10.1121/1.5113578>.
- Nieukirk, S.L., D.K. Mellinger, S.E. Moore, K. Klinck, R.P. Dziak, and J. Goslin. 2012. Sounds from airguns and fin whales recorded in the mid-Atlantic Ocean, 1999–2009. *Journal of the Acoustical Society of America* 131(2): 1102-1112. <https://doi.org/10.1121/1.3672648>.
- Panigada, S., O. Boisseau, A. Canadas, C. Lambert, S. Laran, R. McLanaghan, and A. Moscrop. 2021. *Estimates of abundance and distribution of cetaceans, marine mega-fauna and marine litter in the Mediterranean Sea from 2018-2019 surveys*. In: ACCOBAMS Survey Initiative Project, M. (ed.). ACCOBAMS. 177 p.
- Popper, A.N., A.D. Hawkins, R.R. Fay, D.A. Mann, S. Bartol, T.J. Carlson, S. Coombs, W.T. Ellison, R.L. Gentry, et al. 2014. *Sound Exposure Guidelines for Fishes and Sea Turtles: A Technical Report prepared by ANSI-Accredited Standards Committee S3/SC1 and registered with ANSI*. ASA S3/SC1.4 TR-2014. SpringerBriefs in Oceanography. ASA Press and Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-06659-2>.

- Porter, M.B. and Y.C. Liu. 1994. Finite-element ray tracing. In: Lee, D. and M.H. Schultz (eds.). *International Conference on Theoretical and Computational Acoustics*. Volume 2. World Scientific Publishing Co. pp. 947-956.
- Ross, D. 1976. *Mechanics of Underwater Noise*. Pergamon Press, NY, USA.
- Sertlek, H.Ö. 2021. Hindcasting Soundscapes before and during the COVID-19 Pandemic in Selected Areas of the North Sea and the Adriatic Sea. 9(7): 702. <https://www.mdpi.com/2077-1312/9/7/702>.
- Simon, M., K.M. Stafford, K. Beedholm, C.M. Lee, and P.T. Madsen. 2010. Singing behavior of fin whales in the Davis Strait with implications for mating, migration and foraging. *Journal of the Acoustical Society of America* 128(5): 3200-3210. <https://doi.org/10.1121/1.3495946>.
- Società Geologica Italiana. 2021. *ViDEPI: List of Well Logs with Consultable Profiles* (web page). <https://www.videpi.com/videpi/pozzi/consultabili.asp>. (Accessed 26th May).
- Southall, B.L., A.E. Bowles, W.T. Ellison, J.J. Finneran, R.L. Gentry, C.R. Greene, Jr., D. Kastak, D.R. Ketten, J.H. Miller, et al. 2007. Marine Mammal Noise Exposure Criteria: Initial Scientific Recommendations. *Aquatic Mammals* 33(4): 411-521. <https://doi.org/10.1578/AM.33.4.2007.411>.
- Southall, B.L., J.J. Finneran, C.J. Reichmuth, P.E. Nachtigall, D.R. Ketten, A.E. Bowles, W.T. Ellison, D.P. Nowacek, and P.L. Tyack. 2019. Marine Mammal Noise Exposure Criteria: Updated Scientific Recommendations for Residual Hearing Effects. *Aquatic Mammals* 45(2): 125-232. <https://doi.org/10.1578/AM.45.2.2019.125>.
- Teague, W.J., M.J. Carron, and P.J. Hogan. 1990. A comparison between the Generalized Digital Environmental Model and Levitus climatologies. *Journal of Geophysical Research* 95(C5): 7167-7183. <https://doi.org/10.1029/JC095iC05p07167>.
- Tyack, P.L. and C.W. Clark. 2000. Communication and Acoustic Behavior of Dolphins and Whales. (Chapter 4) In Au, W.W.L., R.R. Fay, and A.N. Popper (eds.). *Hearing by Whales and Dolphins*. Springer, New York. pp. 156-224. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-1150-1_4.
- United Nations. 2009. *Specially Protected Areas of Mediterranean Importance*. United Nations Environment Programme Mediterranean Action Plan. Regional Activity Centre for Specially Protected Areas.
- Urick, R.J. 1983. *Principles of Underwater Sound*. 3rd edition. McGraw-Hill, New York, London. 423 p.
- van der Graaf, A.J., M.A. Ainslie, M. André, K. Brensing, J. Dalen, R.P.A. Dekeling, S. Robinson, M.L. Tasker, F. Thomsen, and S. Werner. 2012. *European Marine Strategy Framework Directive - Good Environmental Status (MSFD GES)*. Report of the Technical Subgroup on Underwater Noise and Other Forms of Energy, Brussels. http://ec.europa.eu/environment/marine/pdf/MSFD_reportTSG_Noise.pdf.
- Wenz, G.M. 1962. Acoustic Ambient Noise in the Ocean: Spectra and Sources. *Journal of the Acoustical Society of America* 34(12): 1936-1956. <https://doi.org/10.1121/1.1909155>.

Appendice A. Terminologia

A.1. Acustica Sottomarina

Il suono è più comunemente descritto utilizzando la metrica del livello di pressione sonora (L_p). I livelli di ampiezza del suono sott'acqua sono comunemente misurati in decibel (dB) rispetto a una pressione di riferimento fissa di $p_0 = 1 \mu\text{Pa}$. L' L_p quadratico medio (root-mean square, rms) viene utilizzato per quantificare i suoni generati dall'attività target.

L_p (dB re $1 \mu\text{Pa}$) è il livello di decibel della pressione rms in una banda di frequenza stabilita entro una finestra temporale (T ; s) contenente l'evento acustico:

$$L_p = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{T} \int_T p^2(t) dt / p_0^2 \right) \quad (\text{A-1})$$

L' L_p è una misura del livello di pressione effettivo per la durata di un evento acustico, come l'emissione di un impulso acustico o di una scansione. Perché la lunghezza della finestra, T , è il divisore, gli eventi più distribuiti nel tempo hanno un L_p inferiore anche se possono avere una densità di energia acustica totale simile.

Il livello Power Spectral Density (PSD) è una descrizione di come la potenza acustica è distribuita su diverse frequenze all'interno di uno spettro. Si esprime in dB re $1 \mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$.

Il livello di esposizione sonora (SEL, dB re $1 \mu\text{Pa}^2 \text{ s}$) è una misura dell'energia acustica totale contenuta in uno o più eventi acustici. Il SEL per un singolo evento viene calcolato dall'integrale temporale della pressione al quadrato sull'intera durata dell'evento (T_{100}):

$$\text{SEL} = 10 \log_{10} \left(\int_{T_{100}} p^2(t) dt / T_0 p_0^2 \right) \quad (\text{A-2})$$

dove T_0 è un intervallo di tempo di riferimento di 1 s. Il SEL rappresenta l'energia acustica totale ricevuta in un luogo durante un evento acustico; misura l'energia sonora totale a cui sarebbe esposto un organismo in quella posizione.

Poiché L_p e SEL sono entrambi calcolati dall'integrale della pressione al quadrato, queste metriche sono correlate dalla seguente espressione, che dipende solo dalla durata della finestra temporale dell'energia T :

$$L_p = \text{SEL} - 10 \log_{10}(T) \quad (\text{A-3})$$

Le statistiche del livello sonoro, ovvero i percentili di superamento, vengono utilizzate per quantificare la distribuzione dei livelli sonori registrati generati dall'attività. Seguendo la pratica acustica standard, il livello n -esimo percentile (L_n) è il livello (per es., PSD level, L_p , or SEL) ecceduto da $n\%$ dei dati. L_{99} è il livello sonoro massimo registrato. L_{eq} è la media aritmetica lineare della potenza sonora, che può essere sostanzialmente diversa dal livello sonoro mediano L_{50} . L_p può anche essere chiamato L_{eq} , che significa 'livello equivalente'. I due termini sono usati in modo intercambiabile. Il livello mediano, piuttosto che la media, è stato utilizzato per confrontare i livelli sonori più tipici tra registratori, poiché la mediana è meno influenzata da valori anomali di ampiezza elevata (ad esempio, un crostaceo che picchietta sull'idrofono) rispetto al livello sonoro medio. L_5 , il livello ecceduto da solo il 5% dei dati, rappresenta i livelli sonori tipici più alti misurati. I livelli sonori tra L_5 and L_{99} provengono generalmente da passaggi molto ravvicinati di navi, eventi meteorologici molto intensi e altre condizioni poco frequenti. L_{95} rappresenta le condizioni tipiche più tranquille.

A.2. Analisi in bande di un terzo d'ottava

La distribuzione della potenza di un suono con la frequenza è descritta dallo spettro del suono. Lo spettro sonoro può essere suddiviso in una serie di bande di frequenza adiacenti. La suddivisione di uno spettro in bande larghe 1 Hz, chiamate bande passanti, produce la densità spettrale di potenza del suono. Questi valori si confrontano direttamente con le curve di Wenz, che rappresentano i tipici livelli sonori dell'oceano profondo (Wenz 1962). Questa suddivisione dello spettro in bande passanti di ampiezza costante di 1 Hz, tuttavia, non rappresenta il modo in cui gli animali percepiscono il suono.

Poiché gli animali percepiscono aumenti esponenziali della frequenza piuttosto che aumenti lineari, l'analisi di uno spettro sonoro con bande passanti che aumentano esponenzialmente di dimensioni si avvicina meglio agli scenari del mondo reale. Nell'acustica subacquea, uno spettro è comunemente suddiviso in bande di 1/3 di ottava, che sono larghe un decimo di decade (circa un terzo di ottava). Ogni decade rappresenta un fattore 10 nella frequenza del suono. Ogni ottava rappresenta un fattore 2 nella frequenza del suono. La frequenza centrale della i -esima banda di 1/3 d'ottava, $f_c(i)$, è definito come:

$$f_c(i) = 10^{\frac{i}{10}} \text{ kHz} \tag{A-4}$$

e il limite basso (f_{lo}) e alto (f_{hi}) della frequenza di un i -esimo a1/3-banda di ottava definita come:

$$f_{lo,i} = 10^{\frac{-1}{20}} f_c(i) \quad \text{and} \quad f_{hi,i} = 10^{\frac{1}{20}} f_c(i) \tag{A-5}$$

Le bande di 1/3 d'ottava si allargano all'aumentare della frequenza, e su scala logaritmica le bande appaiono equidistanti (Figura A-1).

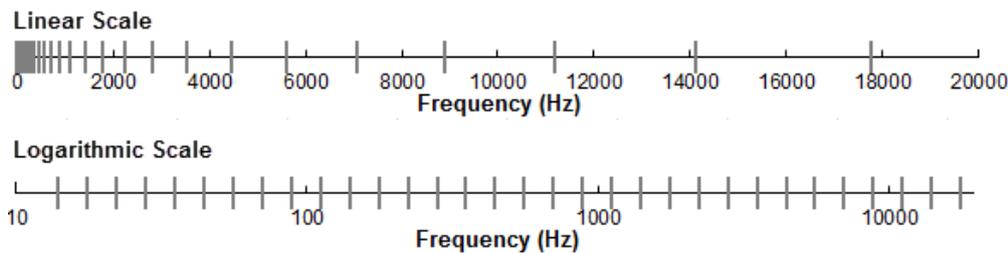


Figura A-1. Bande di frequenza di un terzo d'ottava (linee verticali) mostrate su una scala di frequenza lineare e su una scala logaritmica.

Il livello di pressione sonora nella i -esima banda ($L_{p,i}$) è calcolato dallo spettro $S(f)$ tra $f_{lo,i}$ e $f_{hi,i}$:

$$L_{p,i} = 10 \log_{10} \int_{f_{lo,i}}^{f_{hi,i}} S(f) df \text{ dB} \tag{A-6}$$

Sommando il livello di pressione sonora di tutte le bande si ottiene il livello di pressione sonora a banda larga:

$$\text{Broadband } L_p = 10 \log_{10} \sum_i 10^{\frac{L_{p,i}}{10}} \text{ dB} \tag{A-7}$$

La figura A-2 mostra un esempio di come i livelli di pressione sonora in banda di 1/3 d'ottava si confrontano con i livelli di densità spettrale della pressione sonora di un segnale sonoro ambientale. Poiché le bande di 1/3 d'ottava sono più larghe di 1 Hz, l' L_p della banda di 1/3 d'ottava è maggiore dei livelli spettrali, specialmente alle frequenze più alte. L'analisi per bande di terzo d'ottava viene applicata a sorgenti di rumore continue e impulsive. Per le sorgenti impulsive viene tipicamente riportato il SEL in banda di 1/3 d'ottava.

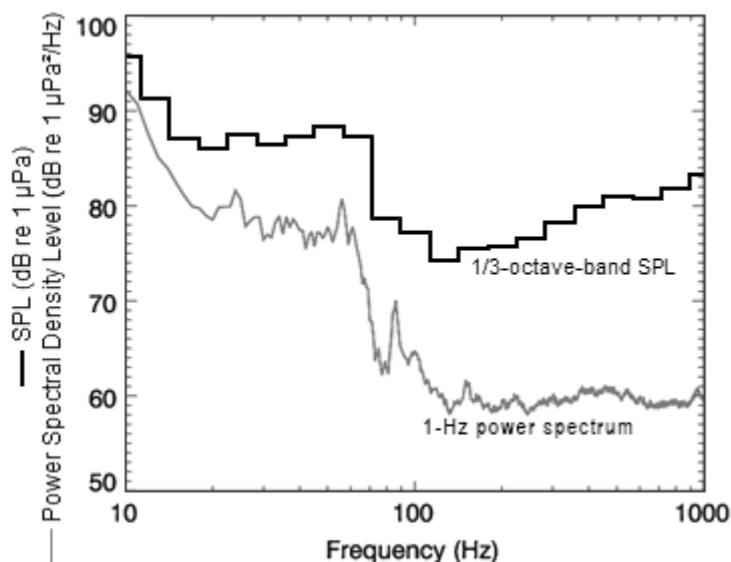


Figura A-2. Livelli di densità spettrale della pressione sonora e i corrispondenti livelli di pressione sonora in banda di 1/3 d'ottava del suono ambientale di esempio mostrati su una scala di frequenza logaritmica. Poichè le bande di 1/3 d'ottava sono più ampie all'aumentare della frequenza, l'LP della banda di 1/3 d'ottava è maggiore dello spettro di potenza.

A.3. Southall et al. (2019) funzioni di ponderazione in frequenza

Nel 2015, un rapporto tecnico della Marina degli Stati Uniti di Finneran (2015) raccomandò nuove funzioni di ponderazione uditiva. Le funzioni di ponderazione uditiva per i mammiferi marini vengono applicate in modo simile alla ponderazione A per le valutazioni del livello di rumore per gli esseri umani. Le nuove funzioni di ponderazione in frequenza sono espresse come:

$$G(f) = K + 10 \log_{10} \left\{ \frac{(f/f_1)^{2a}}{[1 + (f/f_1)^2]^a [1 + (f/f_2)^2]^b} \right\} \quad (\text{A-6})$$

Finneran (2015) ha proposto cinque gruppi uditivi funzionali per i mammiferi marini in acqua: cetacei a bassa, media e alta frequenza (rispettivamente cetacei LF, MF e HF), pinnipedi focidi e pinnipedi otariidi. I parametri per queste funzioni di ponderazione in frequenza sono stati ulteriormente modificati l'anno successivo (Finneran 2016) e sono stati adottati nella guida tecnica del NOAA che valuta gli impatti acustici sui mammiferi marini (NMFS 2018), e nell'ultima guida di Southall (2019). Gli aggiornamenti non hanno interessato i contenuti relativi nè alle definizioni delle funzioni di ponderazione della frequenza nè ai valori di soglia rispetto ai criteri definiti in Southall et al. (2007). La Tabella A-1 elenca i parametri di ponderazione della frequenza per ciascun gruppo uditivo. La figura A-3 mostra le curve di ponderazione in frequenza risultanti.

Tabella A-1. Parametri per le funzioni di ponderazione uditiva raccomandati da NMFS (2018).

Gruppo uditivo funzionale	a	b	f_1 (Hz)	f_2 (Hz)	K (dB)
Low-frequency cetaceans	1.0	2	200	19,000	0.13
High-frequency cetaceans	1.6	2	8,800	110,000	1.20
Very-high-frequency cetaceans	1.8	2	12,000	140,000	1.36
Phocid pinnipeds in water	1.0	2	1,900	30,000	0.75
Otariid pinnipeds in water	2.0	2	940	25,000	0.64

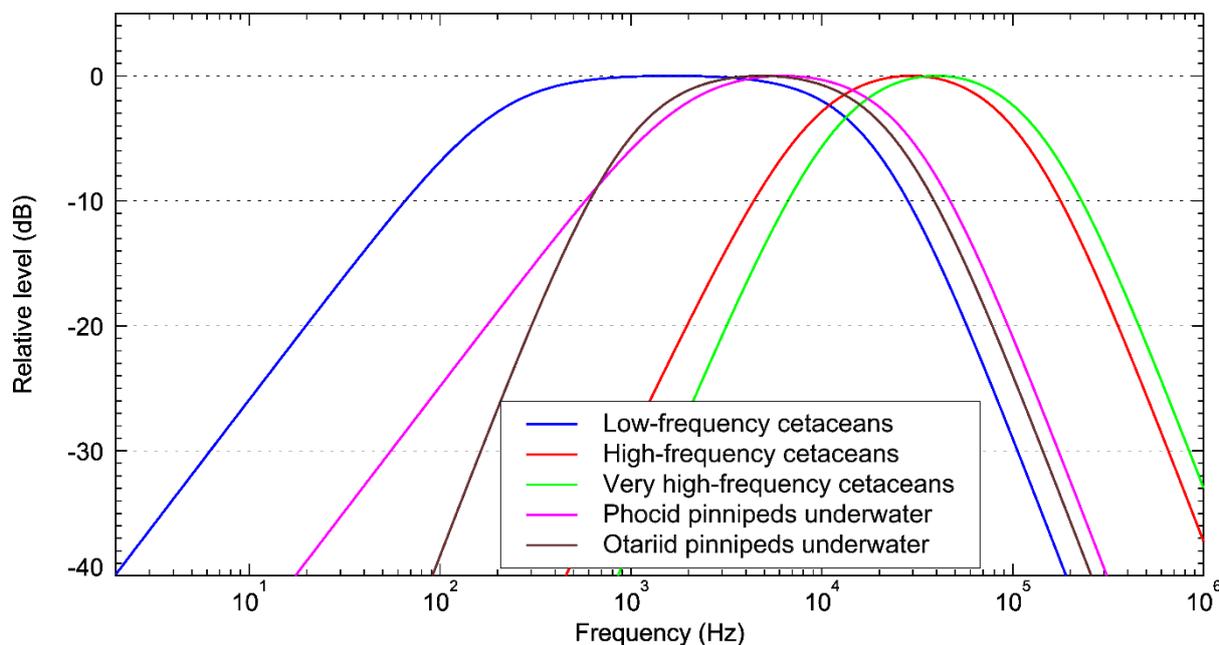


Figura A-3. Funzioni di ponderazione uditiva per i gruppi uditivi funzionali dei mammiferi marini come raccomandato da Southall (2019).

Appendice B. Strumenti

B.1. Caratteristiche tecniche idrofono

GP1280 Hydrophone

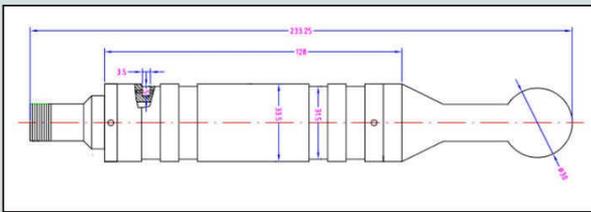


The GP1280 is a preamplified, omnidirectional hydrophone, a professional tool suitable for a wide range of applications. Its low self noise and high sensitivity makes it especially suited for ambient noise measurements and recording the acoustic signature of mammals.



- High sensitivity
- Low self noise ("below sea state zero")
- Wide frequency range
- Single or balanced output
- Calibration input
- Customizable in gain and filtering
- Long term deployment, corrosion proof

Working band:	5-90.000 Hz
High pass filter on preamplifier :	Customizable (on demand)
Balanced output sensitivity:	-163 dB re 1V / uPa @ 5kHz (customizable)
Single output sensitivity:	-169 dB re 1V / uPa @ 5kHz (customizable)
Directivity :	Spherical - Omnidirectional
Max working depth :	1000 m
Gain @5kHz:	30 dB (single output), 36dB (balanced output)
Equivalent input acoustic noise @5kHz:	32 dB re 1uPa / sqrt.Hz
Input impedance:	100 MOhm
Supply voltage range:	11,5-30 Vdc
Current consumption:	9 mA @ 12 Vdc
Output voltage swing:	6Vpp (single output), 12 Vpp (balanced output)
Weight in air:	500 gr
Body construction:	Stainless steel AISI316 or POMC + internal steel core
Dimensions:	233,25 x 33,5 mm
Packaging:	Pellicase mod.1170

CO.L.MAR. S.r.l. via delle Pianazze, 74 - 19136 La Spezia (Italy)
 Tel.+39 0187 982590 Fax 943461 P.I.00742150113
 e-mail colmar@colmaritalia.it www.colmaritalia.it



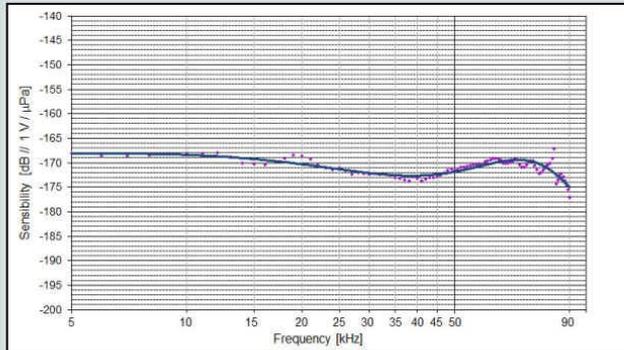
www.colmaritalia.it

www.colmaritalia.it

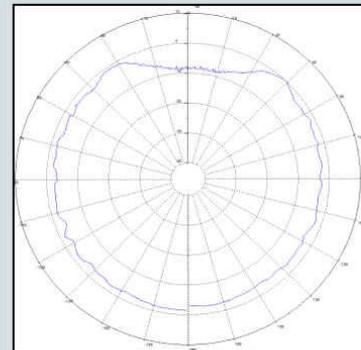
GP1280 Hydrophone



Receiving sensitivity (single output)

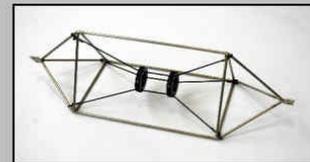


Vertical directivity pattern @ 60kHz



Accessories and optional configurations

- Protective frame
- Protective frame with suspension system for vibration damping
- Portable and rugged receiving unit fitted with variable gain adjustment, rechargeable battery, audio output, headphones output with volume knob, calibration signal.



Also available

- GP1280M model (without connector).
- Low Power version (from 3.1 Vdc to 5.5 Vdc, supply <5mA).
- Ultra deep (up to 2000m) version.
- Custom cable lengths and connectors.
- POMC Body for long term deployments



CO.L.MAR. S.r.l. via delle Pianazze, 74 - 19136 La Spezia (Italy)
 Tel +39 0187 982590 Fax 943461 P.1.00742150113
 e-mail colmar@colmaritalia.it www.colmaritalia.it



B.2. Caratteristiche tecniche calibratore

www.colmaritalia.it

GP Hydrophone Calibrator



Battery operated field calibrator for Colmar GP series hydrophones. Using custom adaptors it can be used even with different types of hydrophones.

Easy to use and configure, allows different types of calibrations:

- Acoustic (fixed or sweep frequency from 100Hz to 700Hz)
- Electronic (fixed or sweep frequency from 3Hz to 200 kHz)
- Complete (Acoustic + Electronic).

Acoustic calibration gives hydrophone sensitivity expressed in dB re to $V_{rms}/\mu Pa$.

Bode plot diagram and data output as Acoustic (all hydrophones) and Electronic (only preamplified hydrophones) calibrations.

Easy to carry, ideal to perform field calibrations just before underwater noise measurements.

Performs Acoustic + Electronic calibration from 3 Hz to 200kHz - Sweep or fixed frequency - Graphs and data

Internal precision calibrated microphone as reference
Display visible even under direct sun light
BNC input available for external calibration signal
BNC output to monitor the reference microphone
Battery status indicator
Internal SD card for storing data and USB output for downloading data and graphs
Dimension and weight: 13.68" x 11.61" x 5.75" peli 1400, 4kg



COL.MAR. S.r.l. via delle Pianazze, 74 - 19136 La Spezia (I)
 Tel +39 0187 982590 Fax 943461 P.1.00742150113
 e-mail colmar@colmaritalia.it www.colmaritalia.it



www.colmaritalia.it

GP Hydrophone Calibrator

The GP hydrophone calibrator is provided with relative custom software to download and display data and graphs resulting from the acoustic and electronic calibrations.

Communication is achieved serially via USB-A port on the field calibrator.

Included Accessories: Battery charger 110-240 VAC 0.8A MS type connector, USB-A to USB-A cable

General specifications:

Hydrophone: Colmar GP series and other types using adaptors (maximum diameter 1.2")

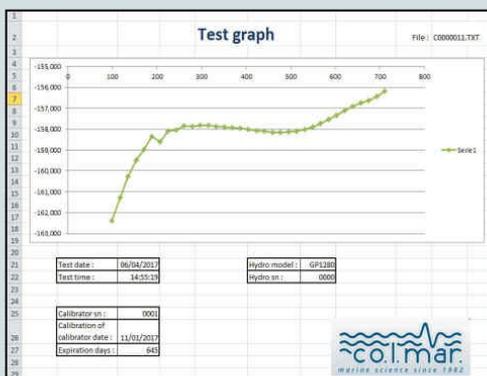
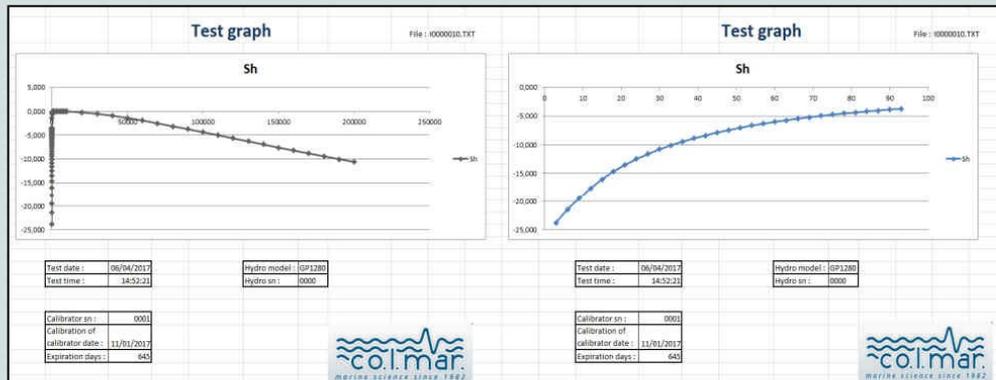
Interface: 5 Pins header (vcc/gnd/out+/out-/in cal), BNC output for microphone monitoring, BNC input for external signal generator

Calibration signal: Acoustic from 100Hz to 700Hz (fixed or sweep freq.), Electronic from 3Hz to 200kHz (fixed or sweep freq.). Electronic calibration can also be performed using an external signal generator.

Reference mic: Behringer ECM8000

Calibration data storage: Internal memory

Communication: Serial via USB-A port on calibrator panel



A	B	52	Frequency test	dB
1		72		-4,969
2	Test date : 06/04/2017	54		-4,760
3	Test time : 14:55:19	55		-4,539
4		56		-4,175
5		57		-4,179
6		58		-4,024
7	Freq	59		-3,852
8	99	60		-3,718
9	117	61		-3,570
10	135	62		-3,441
11	153	63		-1,396
12	171	64		-0,675
13	189	65		-0,398
14	207	66		-0,263
15	225	67		-0,174
16	243	68		-0,131
17	261	69		-0,098
18	279	70		-0,075
19	297	71		-0,053
20	315	72		-0,042
21	333	73		-0,010
22	351	74		0,000

COL.MAR. S.r.l. via delle Pianazze, 74 - 19136 La Spezia (I)
 Tel +39 0187 982590 Fax 943461 P.I.00742150113
 e-mail colmar@colmaritalia.it www.colmaritalia.it



Appendice C. Propagazione del suono

C.1. Propagazione del suono col modello MONM-Bellhop

La propagazione del suono sott'acqua (cioè la perdita di trasmissione) è stata modellizzata con il Marine Operations Noise Model (MONM) della JASCO. Questo modello calcola la propagazione del suono da sorgenti acustiche tramite il modello di ray-trace acustico a fascio gaussiano BELLHOP (Porter and Liu 1994). Questa versione di MONM tiene conto dell'attenuazione del suono dovuta all'assorbimento di energia attraverso il rilassamento ionico e la viscosità dell'acqua oltre all'attenuazione acustica dovuta alla riflessione ai bordi del mezzo e agli strati interni (Fisher and Simmons 1977). Il primo tipo di attenuazione del suono è importante per le frequenze superiori a 5 kHz e non può essere trascurato senza influenzare notevolmente i risultati del modello.

MONM calcola i campi acustici in tre dimensioni modellizzando la perdita di trasmissione all'interno di piani verticali bidimensionali (2 D) allineati lungo radiali che coprono un'area di 360° dalla sorgente, un approccio comunemente indicato come $N \times 2$ D. Questi piani radiali verticali sono separati di un passo angolare definito, ottenendo $N = 360^\circ / \Delta\theta$ numero di piani (Figura C-1). La dimensione del gradino angolare dei radiali viene scelta per campionare sufficientemente la configurazione del fascio sorgente. MONM tiene conto della variabilità del livello sonoro dell'impulso emesso con angoli sia di azimut che di depressione secondo lo schema del fascio 3D della sorgente e stima i livelli sonori a varie distanze orizzontali dalla sorgente alle varie profondità.

Il livello sonoro ricevuto in una posizione di campionamento viene preso come il valore massimo che si verifica su tutti i campioni all'interno della colonna d'acqua sottostante, ovvero il livello sonoro ricevuto massimo in profondità (Figura C-1). Questi livelli di massima profondità vengono quindi presentati come contorni di colore attorno alla sorgente (ad esempio, Figura C-2).

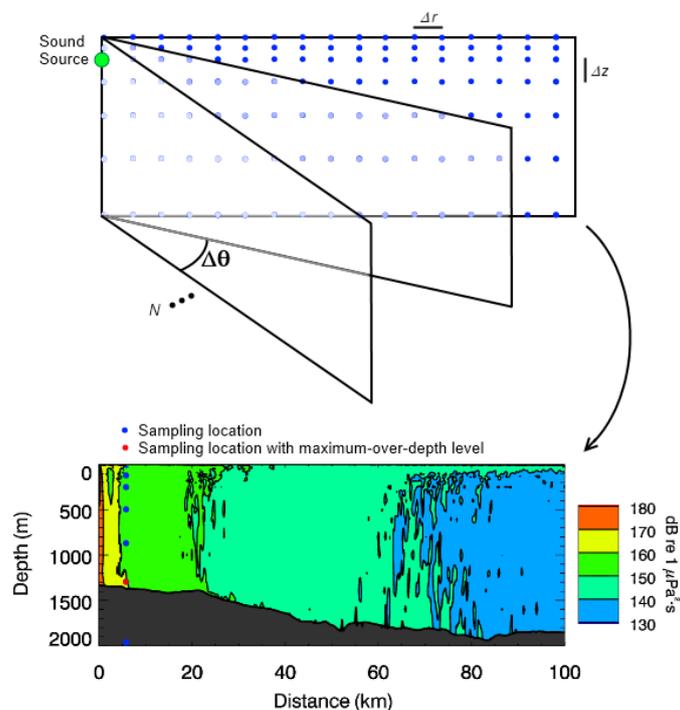


Figura C-1. Rappresentazione degli approcci $N \times 2$ -D e massimo-sulla-profondità.

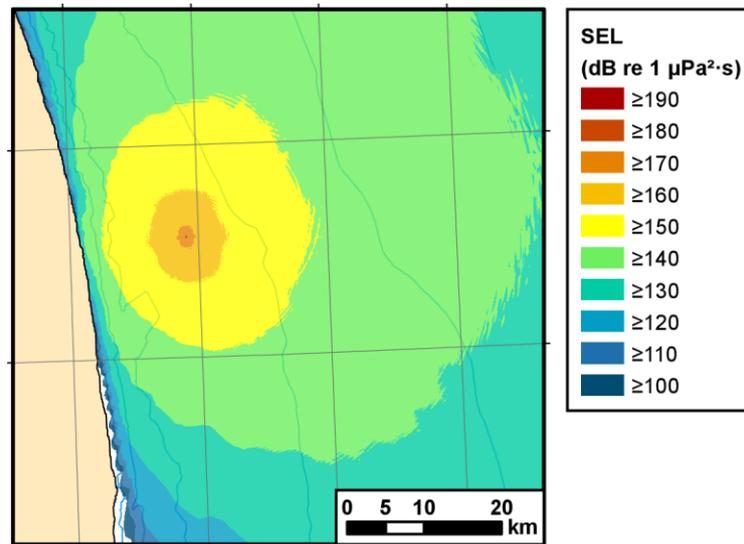


Figura C-2. Esempio di una mappa dell'SEL Massimo sulla profondità. SEL per una sorgente non specificata.

Appendice D. Dettagli monitoraggio

D.1. Assetto del terminale FSRU Toscana

Tabella D-1. Descrizione delle possibili modalità operative del terminale FSRU Toscana.

MODALITÀ OPERATIVA	DESCRIZIONE DELLA MODALITÀ OPERATIVA
<p>Holding mode (impianto in funzione con send-out, cioè con invio di gas a terra)</p>	<p>È la modalità che si potrebbe definire di “normale operatività” e contempla l’attività di rigassificazione del Terminale in assenza di scarico di GNL da nave metaniera. La rigassificazione può essere effettuata con uno, due oppure tre vaporizzatori, in funzione della richiesta a terra di gas naturale, nel rispetto della massima capacità annua autorizzata, pari a 3,75 miliardi di Smc.</p>
<p>Unloading (disarica da nave e send-out)</p>	<p>Caratterizzata dalla contemporanea presenza della nave metaniera che rifornisce GNL al Terminale e del send-out. Durante questa fase vi è una maggiore produzione di BOG rispetto alle altre modalità di gestione operativa del Terminale, dovuta alla movimentazione del GNL che viene controllato e recuperato tramite un macchinario dedicato (il BOG compressor), per essere poi ricondensato nel recondenser.</p>
<p>Zero send-out (nessun invio di gas a terra)</p>	<p>Considera i periodi in cui non si svolge l’attività di rigassificazione all’interno del Terminale. In questo assetto, onde consentire il necessario mantenimento a temperatura criogenica di alcune parti dell’impianto (cisterne, modulo di rigassificazione), è necessario che un’esigua quantità di GNL venga fatta circolare all’interno del circuito per una portata complessiva di circa 50 mc/h; tuttavia, all’interno dei vaporizzatori non vi è alcun passaggio di GNL, e dunque non vi è immissione di gas naturale in rete. Tale condizione assorbe la maggior parte dei momenti transitori nella gestione dell’impianto (ad esempio la fase transitoria tra plant off e zero send-out e viceversa, ed il transitorio tra zero send-out e send-out).</p>
<p>Plant off-tank cold (impianto fermo con i soli serbatoi “freddi”)</p>	<p>Il Terminale in questa modalità funziona come stoccaggio del GNL, che resta all’interno dei serbatoi e non viene inviato al modulo di rigassificazione, che quindi risulta caldo. In questa modalità tutto il BOG formatosi nei serbatoi viene inviato al sistema di recupero tramite i compressori low-duty (LD), e viene bruciato in caldaia per produrre il vapore necessario alla produzione di energia elettrica per l’autosostentamento del Terminale.</p>

Tabella D-2. Descrizione assetto del terminale FSRU Toscana per ogni giorno di monitoraggio.
H=Holding, ZSO=zero send out, and OFF = plant off, tank cold.

FSRU TOSCAN A EQUIPMENT	descrizione equipment	18/12/2022	19/12/2022	16/03/2023	17/03/2023	21/03/2023	22/03/2023	06/04/2023	22/05/2023	24/05/2023	26/05/2023	27/05/2023	28/05/2023	29/05/2023	02/09/2023	04/09/2023	05/09/2023	09/09/2023
		H	H	H	H	H	H	H	ZSO	H	H	H	H	H	H	H	H	H
NO.1 BALLAST PUMP (E/R FLOOR DK)	Pompa cassa di zavorra	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X
NO.3 BALLAST PUMP (E/R FLOOR DK)	Pompa cassa di zavorra																	
IN TANK PUMP 1	Pompe LNG verso la rigassificazione dentro le cisterne del carico	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X
IN TANK PUMP 2	Pompe LNG verso la rigassificazione dentro le cisterne del carico	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X
IN TANK PUMP 3	Pompe LNG verso la rigassificazione dentro le cisterne del carico	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X
IN TANK PUMP 4	Pompe LNG verso la rigassificazione dentro le cisterne del carico	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X
SEA WATER PUMP N.1	Pompe di processo acqua mare in sala macchine	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
SEA WATER PUMP N.2	Pompe di processo acqua mare in sala macchine	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

SEA WATER PUMP N.3	Pompe di processo acqua mare in sala macchine	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
MAIN SW CIRC. PUMP	Pompa acqua mare in sala macchine																		
WOBBE INDEX - FEED AIR COMPS N.1	Compressori di alimentazione Wobbe Index in coperta														X				
WOBBE INDEX - FEED AIR COMPS N.2	Compressori di alimentazione Wobbe Index in coperta	X	X	X		X	X	X	X		X				X	X	X	X	X
WOBBE INDEX - FEED AIR COMPS N.3	Compressori di alimentazione Wobbe Index in coperta	X	X	X		X	X	X	X		X	X			X				
WOBBE INDEX - FEED AIR COMPS N.4	Compressori di alimentazione Wobbe Index in coperta	X	X			X	X	X	X			X			X				X
WOBBE INDEX - FEED AIR COMPS N.5	Compressori di alimentazione Wobbe Index in coperta		X			X	X	X	X							X	X		
BOG COMP - MAIN COMPRESSOR	Compressore del BOG in coperta																		
LNG BOOSTER PUMP N.1	Pompe di alimentazione GNL ai vaporizzatori in coperta	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LNG BOOSTER PUMP N.3	Pompe di alimentazione GNL ai vaporizzatori in coperta	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
BOILER FD FAN NO. 1	Tiraggio forzato delle caldaie	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
BOILER FD FAN NO. 2	Tiraggio forzato delle caldaie	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
NITROGEN COMPRESSOR	Compressore Azoto	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

N.1 SEA WATER COOLING PUMP FOR N2 GEN		X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X
N.2 SW COOLING PUMP FOR N2 GEN		X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X
FGR FAN #1		X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X
FGR FAN #2		X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X
NO 1 MAIN COOLING SEA WATER PUMP		X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X
AZIMUTH THRUSTER MOTOR AFT	Thruster di posizionamento			X					X					X	X			X
THRUSTER SW COOLING PUMP	Pompa di raffreddamento Thruster			X					X					X	X			X
NO 1 LOW DUTY COMPRESSOR		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
STG #1 (3,35 MW)	Turbina a vapore da da 3,35 MW	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
STG #2 (3,35 MW)	Turbina a vapore da da 3,35 MW	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
STG #3 (10 MW)	Turbina a vapore da 10 MW	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Boiler #1	Caldaia	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Boiler #2	Caldaia	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Diesel generator	Diesel generator (usato solo in condizioni di non normale operatività)																	

D.2. Coordinate e tempi del campionamento

Tabella D-3. Tabella riassuntiva delle date di registrazione e coordinate del ricevitore (idrofono) durante il campionamento. Nell'indicazione della stazione, le lettere all'inizio fanno riferimento ai punti cardinali (E=Est, S=Sud, N=Nord e W=Ovest). La distanza tra Sorgente e ricevitore è stata calcolando utilizzando la formula di Haversine, prendendo come riferimento un raggio medio terrestre di 6371km ed utilizzando come sorgente le coordinate: Lat: 43.6451 N , Lon: 9.98917 E.

Stagione	Stazione	Coordinate idrofono		Inizio registrazione	Fine registrazione	Distanza Idrofono-Sorgente [m]	Profondità fondale [m]
		Lat	Lon				

A22	E100 55a	43.64474	9.991296	19/12/2022 11:51:21	19/12/2022 12:01:21	50	110
A22	E100 55b	43.64409	9.991799	19/12/2022 13:09:15	19/12/2022 13:19:15	140	110
A22	E100 8a	43.6442	9.991673	19/12/2022 14:27:10	19/12/2022 14:37:10	120	110
A22	E100 8b	43.64608	9.990684	19/12/2022 15:50:13	19/12/2022 16:00:13	140	110
A22	E10K 45a	43.6567	10.12421	18/12/2022 08:52:46	18/12/2022 09:02:46	1600	48
A22	E10K 45b	43.65421	10.12363	18/12/2022 09:15:42	18/12/2022 09:25:42	1300	48
A22	E10K 8a	43.6515	10.12277	18/12/2022 09:32:55	18/12/2022 09:42:55	880	48
A22	E10K 8b	43.6463	10.11989	18/12/2022 09:50:58	18/12/2022 10:00:58	160	48
A22	E1K 55a	43.64403	10.00177	18/12/2022 10:39:06	18/12/2022 10:49:06	150	100
A22	E1K 55b	43.64559	9.999617	18/12/2022 11:12:34	18/12/2022 11:22:34	67	100
A22	E1K 8a	43.64585	10.0012	18/12/2022 10:55:03	18/12/2022 11:05:03	100	100
A22	E1K 8b	43.64418	10.00141	18/12/2022 11:28:12	18/12/2022 11:38:12	130	100
A22	N100 55a	43.64624	9.990639	19/12/2022 11:32:06	19/12/2022 11:42:06	160	110
A22	N100 55b	43.64773	9.989193	19/12/2022 12:48:22	19/12/2022 12:58:22	360	110
A22	N100 8a	43.64866	9.986371	19/12/2022 14:10:00	19/12/2022 14:20:00	490	110
A22	N100 8b	43.64888	9.987179	19/12/2022 15:27:07	19/12/2022 15:37:07	520	110
A22	N10K 55a	43.72408	9.994066	19/12/2022 16:52:10	19/12/2022 17:02:10	11000	86
A22	N10K 55b	43.72512	9.994642	19/12/2022 17:05:04	19/12/2022 17:15:04	11000	86
A22	N10K 8a	43.72793	9.995361	19/12/2022 17:20:04	19/12/2022 17:30:04	11000	86
A22	N10K 8b	43.73032	9.996223	19/12/2022 17:35:42	19/12/2022 17:45:42	12000	86
A22	N1K 55a	43.65287	9.989215	18/12/2022 11:50:00	18/12/2022 12:00:00	1100	107
A22	N1K 55b	43.65185	9.988928	18/12/2022 12:20:17	18/12/2022 12:30:17	930	107
A22	N1K 8a	43.65307	9.990401	18/12/2022 12:05:12	18/12/2022 12:15:12	1100	107
A22	N1K 8b	43.65242	9.990401	18/12/2022 12:35:18	18/12/2022 12:45:18	1000	107
A22	S100 55a	43.64411	9.989202	19/12/2022 10:57:05	19/12/2022 11:07:05	140	110
A22	S100 55b	43.6426	9.990217	19/12/2022 12:09:50	19/12/2022 12:19:50	340	110
A22	S100 8a	43.64238	9.990055	19/12/2022 13:30:14	19/12/2022 13:40:14	370	110
A22	S100 8b	43.64124	9.988258	19/12/2022 14:50:15	19/12/2022 15:00:15	530	110
A22	S10K 55a	43.54832	10.01161	18/12/2022 15:50:42	18/12/2022 16:00:42	13000	110
A22	S10K 55b	43.54863	10.00686	18/12/2022 16:10:37	18/12/2022 16:20:37	13000	110
A22	S10K 8a	43.54967	10.00011	19/12/2022 16:28:11	19/12/2022 16:38:11	13000	110
A22	S10K 8b	43.5503	9.994929	19/12/2022 16:45:19	19/12/2022 16:55:19	13000	110
A22	S1K 55a	43.6383	9.989071	18/12/2022 14:12:00	18/12/2022 14:22:00	930	110
A22	S1K 55b	43.63164	9.989682	18/12/2022 14:47:05	18/12/2022 14:57:05	1800	110
A22	S1K 8a	43.63783	9.992343	18/12/2022 14:27:10	18/12/2022 14:37:10	1000	110
A22	S1K 8b	43.63864	9.987094	18/12/2022 15:01:00	18/12/2022 15:11:01	890	110
A22	W100 55a	43.6458	9.985715	19/12/2022 11:15:58	19/12/2022 11:25:58	96	110
A22	W100 55b	43.64524	9.985796	19/12/2022 12:25:17	19/12/2022 12:35:17	19	110
A22	W100 8a	43.64521	9.984519	19/12/2022 13:49:23	19/12/2022 13:59:23	15	110
A22	W100 8b	43.645	9.984286	19/12/2022 15:08:15	19/12/2022 15:18:17	13	110
A22	W10K 55a	43.64079	9.862788	19/12/2022 09:02:01	19/12/2022 09:12:01	590	228
A22	W10K 55b	43.6436	9.8602	19/12/2022 09:45:02	19/12/2022 09:55:02	210	228
A22	W10K 8a	43.64568	9.858474	19/12/2022 09:23:10	19/12/2022 09:33:10	80	228
A22	W10K 8b	43.64807	9.861638	19/12/2022 09:58:07	19/12/2022 10:08:07	410	228
A22	W1K 55a	43.64264	9.978431	18/12/2022 12:58:15	18/12/2022 13:08:15	340	115
A22	W1K 55b	43.64345	9.977748	18/12/2022 13:35:16	18/12/2022 13:45:16	230	115

A22	W1K 8a	43.64587	9.97516	18/12/2022 13:17:47	18/12/2022 13:27:47	110	115
A22	W1K 8b	43.64285	9.976274	18/12/2022 13:52:14	18/12/2022 14:02:14	310	115
I23	E100 55a	43.64444	9.99127	17/03/2023 10:30:00	17/03/2023 10:40:00	90	110
I23	E100 55b	43.64556	9.991333	17/03/2023 16:07:00	17/03/2023 16:17:00	63	110
I23	E100 8a	43.64394	9.991198	17/03/2023 12:53:00	17/03/2023 13:03:00	160	110
I23	E100 8b	43.64476	9.991324	17/03/2023 14:22:00	17/03/2023 14:32:00	47	110
I23	E10K 45a	43.64885	10.10944	22/03/2023 11:15:00	22/03/2023 11:25:00	520	48
I23	E10K 45b	43.64736	10.11227	22/03/2023 11:42:00	22/03/2023 11:52:00	310	48
I23	E10K 8a	43.64823	10.11187	22/03/2023 11:29:00	22/03/2023 11:38:00	430	48
I23	E10K 8b	43.64693	10.11039	22/03/2023 11:58:00	22/03/2023 12:08:00	250	48
I23	E1K 55a	43.6385	9.99245	16/03/2023 12:01:00	16/03/2023 12:11:00	910	100
I23	E1K 55b	43.63699	9.99112	16/03/2023 12:34:00	16/03/2023 12:44:00	1100	100
I23	E1K 8a	43.63647	9.98979	16/03/2023 12:17:00	16/03/2023 12:27:00	1200	100
I23	E1K 8b	43.63677	9.98909	16/03/2023 12:51:00	16/03/2023 13:01:00	1100	100
I23	N100 55a	43.64766	9.989976	17/03/2023 10:55:00	17/03/2023 11:05:00	350	110
I23	N100 55b	43.64805	9.988304	17/03/2023 16:40:00	17/03/2023 16:50:00	410	110
I23	N100 8a	43.64746	9.990713	17/03/2023 13:17:00	17/03/2023 13:27:00	320	110
I23	N100 8b	43.64792	9.988376	17/03/2023 14:45:00	17/03/2023 14:55:00	390	110
I23	N10K 55a	43.74086	9.9883	21/03/2023 10:30:00	21/03/2023 10:40:00	13000	86
I23	N10K 55b	43.73469	9.995033	21/03/2023 11:04:00	21/03/2023 11:24:00	12000	86
I23	N10K 8a	43.73813	9.991715	21/03/2023 10:47:00	21/03/2023 10:57:00	13000	86
I23	N10K 8b	43.7317	9.997018	21/03/2023 11:29:00	21/03/2023 11:39:00	12000	86
I23	N1K 55a	43.64408	10.00283	16/03/2023 13:13:00	16/03/2023 13:23:00	140	107
I23	N1K 55b	43.64399	10.00251	16/03/2023 13:52:00	16/03/2023 14:02:00	150	107
I23	N1K 8a	43.64409	10.00139	16/03/2023 13:30:00	16/03/2023 13:40:00	140	107
I23	N1K 8b	43.64501	10.00083	16/03/2023 14:07:00	16/03/2023 14:17:00	12	107
I23	S100 55a	43.64264	9.987262	17/03/2023 12:40:00	17/03/2023 12:50:00	340	110
I23	S100 55b	43.64388	9.987136	17/03/2023 17:25:00	17/03/2023 17:35:00	170	110
I23	S100 8a	43.64325	9.987028	17/03/2023 14:00:00	17/03/2023 14:10:00	250	110
I23	S100 8b	43.64431	9.987064	17/03/2023 15:44:00	17/03/2023 15:54:00	110	110
I23	S10K 55a	43.55879	10.00785	06/04/2023 11:35:00	06/04/2023 11:45:00	12000	110
I23	S10K 55b	43.55032	9.99922	06/04/2023 12:06:00	06/04/2023 12:16:00	13000	110
I23	S10K 8a	43.55527	10.00425	06/04/2023 11:51:00	06/04/2023 12:01:00	12000	110
I23	S10K 8b	43.54928	9.999938	06/04/2023 12:30:00	06/04/2023 12:40:00	13000	110
I23	S1K 55a	43.63783	9.988138	16/03/2023 15:37:00	16/03/2023 15:47:00	1000	110
I23	S1K 55b	43.63705	9.988907	16/03/2023 16:14:00	16/03/2023 16:24:00	1100	110
I23	S1K 8a	43.63743	9.988537	16/03/2023 15:58:00	16/03/2023 16:08:00	1100	110
I23	S1K 8b	43.63672	9.98916	16/03/2023 16:31:00	16/03/2023 16:41:00	1200	110
I23	W100 55a	43.64582	9.987406	17/03/2023 11:17:00	17/03/2023 11:27:00	99	110
I23	W100 55b	43.64602	9.985986	21/03/2023 17:01:00	21/03/2023 17:11:00	130	110
I23	W100 8a	43.64599	9.986687	17/03/2023 13:38:00	17/03/2023 13:48:00	120	110
I23	W100 8b	43.64694	9.987514	17/03/2023 15:13:00	17/03/2023 15:23:00	250	110
I23	W10K 55a	43.65249	9.868058	21/03/2023 13:12:00	21/03/2023 13:22:00	1000	228
I23	W10K 55b	43.64768	9.866082	21/03/2023 13:41:00	21/03/2023 13:51:00	350	228
I23	W10K 8a	43.64411	9.976692	21/03/2023 13:27:00	21/03/2023 13:37:00	140	228
I23	W10K 8b	43.64508	9.977815	21/03/2023 13:58:00	21/03/2023 14:08:00	2	228

I23	W1K 55a	43.64433	9.979522	16/03/2023 14:31:00	16/03/2023 14:40:00	110	115
I23	W1K 55b	43.64424	9.977993	16/03/2023 15:01:00	16/03/2023 15:10:00	120	115
I23	W1K 8a	43.64411	9.976692	16/03/2023 14:46:00	16/03/2023 14:56:00	140	115
I23	W1K 8b	43.64508	9.977815	16/03/2023 15:15:00	16/03/2023 15:24:00	2	115
I23	E100 8a	43.64394	9.991198	17/03/2023 12:53:00	17/03/2023 13:03:00	160	110
I23	E100 8b	43.64476	9.991324	17/03/2023 14:22:00	17/03/2023 14:32:00	47	110
I23	E10K 45a	43.64885	10.10944	22/03/2023 11:15:00	22/03/2023 11:25:00	520	48
I23	E10K 8a	43.64823	10.11187	22/03/2023 11:29:00	22/03/2023 11:38:00	430	48
I23	E10K 8b	43.64693	10.11039	22/03/2023 11:58:00	22/03/2023 12:08:00	250	48
I23	E1K 55a	43.6385	9.99245	16/03/2023 12:01:00	16/03/2023 12:11:00	910	100
I23	E1K 55b	43.63699	9.99112	16/03/2023 12:34:00	16/03/2023 12:44:00	1100	100
I23	E1K 8a	43.63647	9.98979	16/03/2023 12:17:00	16/03/2023 12:27:00	1200	100
I23	E1K 8b	43.63677	9.98909	16/03/2023 12:51:00	16/03/2023 13:01:00	1100	100
I23	N100 55b	43.64805	9.988304	17/03/2023 16:40:00	17/03/2023 16:50:00	410	110
I23	N10K 8b	43.7317	9.997018	21/03/2023 11:29:00	21/03/2023 11:39:00	12000	86
I23	N1K 55a	43.64408	10.00283	16/03/2023 13:13:00	16/03/2023 13:23:00	140	107
I23	N1K 55b	43.64399	10.00251	16/03/2023 13:52:00	16/03/2023 14:02:00	150	107
I23	N1K 8a	43.64409	10.00139	16/03/2023 13:30:00	16/03/2023 13:40:00	140	107
I23	N1K 8b	43.64501	10.00083	16/03/2023 14:07:00	16/03/2023 14:17:00	12	107
I23	S100 8a	43.64325	9.987028	17/03/2023 14:00:00	17/03/2023 14:10:00	250	110
I23	S100 8b	43.64431	9.987064	17/03/2023 15:44:00	17/03/2023 15:54:00	110	110
I23	S10K 8b	43.54928	9.999938	06/04/2023 12:30:00	06/04/2023 12:40:00	13000	110
I23	W100 8a	43.64599	9.986687	17/03/2023 13:38:00	17/03/2023 13:48:00	120	110
I23	W100 8b	43.64694	9.987514	17/03/2023 15:13:00	17/03/2023 15:23:00	250	110
I23	W10K 8a	43.64411	9.976692	21/03/2023 13:27:00	21/03/2023 13:37:00	140	228
I23	W10K 8b	43.64508	9.977815	21/03/2023 13:58:00	21/03/2023 14:08:00	2	228
I23	W1K 55a	43.64433	9.979522	16/03/2023 14:31:00	16/03/2023 14:40:00	110	115
I23	W1K 55b	43.64424	9.977993	16/03/2023 15:01:00	16/03/2023 15:10:00	120	115
I23	W1K 8a	43.64411	9.976692	16/03/2023 14:46:00	16/03/2023 14:56:00	140	115
I23	W1K 8b	43.64508	9.977815	16/03/2023 15:15:00	16/03/2023 15:24:00	2	115
P23	E100 55a	43.64441	9.991612	28/05/2023 08:50:00	28/05/2023 09:00:00	95	110
P23	E100 55b	43.64505	9.986467	28/05/2023 10:33:00	28/05/2023 10:43:00	7	110
P23	E100 8a	43.64497	9.991332	28/05/2023 12:10:00	28/05/2023 12:20:00	18	110
P23	E100 8b	43.64559	9.990927	28/05/2023 13:40:00	28/05/2023 13:50:00	67	110
P23	E10K 45a	43.65897	10.11332	24/05/2023 12:25:00	24/05/2023 12:35:00	1900	48
P23	E10K 45b	43.65325	10.11224	24/05/2023 12:40:00	24/05/2023 12:50:00	1100	48
P23	E10K 8a	43.64802	10.11134	24/05/2023 12:55:00	24/05/2023 13:05:00	400	48
P23	E10K 8b	43.64587	10.11111	24/05/2023 13:08:00	24/05/2023 13:18:00	110	48
P23	E1K 55a	43.64356	9.999697	29/05/2023 09:45:00	29/05/2023 09:55:00	210	100
P23	E1K 55b	43.64434	10.00008	29/05/2023 10:17:00	29/05/2023 10:27:00	100	100
P23	E1K 8a	43.64511	9.999787	29/05/2023 10:01:00	29/05/2023 10:11:00	1	100
P23	E1K 8b	43.64572	9.999855	29/05/2023 10:35:00	29/05/2023 10:45:00	86	100
P23	N100 55a	43.64736	9.989085	28/05/2023 10:12:00	28/05/2023 10:22:00	310	110
P23	N100 55b	43.64708	9.98886	28/05/2023 11:45:00	28/05/2023 11:55:00	270	110
P23	N100 8a	43.64668	9.9885	28/05/2023 13:11:00	28/05/2023 13:21:00	220	110
P23	N100 8b	43.64631	9.988287	28/05/2023 14:41:00	28/05/2023 14:51:00	170	110

P23	N10K 55a	43.74158	9.998442	22/05/2023 10:25:00	22/05/2023 10:35:00	13000	86
P23	N10K 55b	43.73769	9.997183	22/05/2023 10:58:00	22/05/2023 11:08:00	13000	86
P23	N10K 8a	43.73353	9.998622	22/05/2023 14:41:00	22/05/2023 14:51:00	12000	86
P23	N10K 8b	43.73015	9.996285	22/05/2023 11:13:00	22/05/2023 11:23:00	12000	86
P23	N1K 55a	43.65588	9.991485	29/05/2023 11:10:00	29/05/2023 11:20:00	1500	107
P23	N1K 55b	43.64497	9.991332	29/05/2023 11:53:00	29/05/2023 12:03:00	18	107
P23	N1K 8a	43.65472	9.990182	29/05/2023 11:36:00	29/05/2023 11:46:00	1300	107
P23	N1K 8b	43.65389	9.989868	29/05/2023 12:12:00	29/05/2023 12:22:00	1200	107
P23	S100 55a	43.64298	9.987253	28/05/2023 09:17:00	28/05/2023 09:27:00	290	110
P23	S100 55b	43.64294	9.988332	28/05/2023 10:57:00	28/05/2023 11:07:00	300	110
P23	S100 8a	43.64208	9.988197	28/05/2023 12:31:00	28/05/2023 12:41:00	410	110
P23	S100 8b	43.64058	9.9885	28/05/2023 13:59:00	28/05/2023 14:09:00	620	110
P23	S10K 55a	43.5557	10.01752	27/05/2023 14:55:00	27/05/2023 15:05:00	12000	110
P23	S10K 55b	43.55434	10.00934	27/05/2023 15:33:00	27/05/2023 15:43:00	12000	110
P23	S10K 8a	43.55154	10.00395	27/05/2023 15:14:00	27/05/2023 15:24:00	13000	110
P23	S10K 8b	43.54678	9.993252	27/05/2023 15:51:00	27/05/2023 16:01:00	13000	110
P23	S1K 55a	43.6374	9.98606	29/05/2023 14:12:00	29/05/2023 14:22:00	1100	110
P23	S1K 55b	43.63655	9.987183	29/05/2023 14:52:00	29/05/2023 15:02:00	1200	110
P23	S1K 8a	43.63564	9.988532	29/05/2023 14:31:00	29/05/2023 14:41:00	1300	110
P23	S1K 8b	43.63519	9.989722	29/05/2023 15:07:00	29/05/2023 15:17:00	1400	110
P23	W100 55a	43.64559	9.987388	28/05/2023 09:40:00	28/05/2023 09:50:00	68	110
P23	W100 55b	43.64491	9.986355	28/05/2023 11:20:00	28/05/2023 11:30:00	26	110
P23	W100 8a	43.64447	9.98567	28/05/2023 12:53:00	28/05/2023 13:03:00	86	110
P23	W100 8b	43.64392	9.98476	28/05/2023 14:16:00	28/05/2023 14:26:00	160	110
P23	W10K 55a	43.6474	9.860728	26/05/2023 13:45:00	26/05/2023 13:55:00	320	228
P23	W10K 55b	43.6469	9.861818	26/05/2023 14:14:00	26/05/2023 14:24:00	250	228
P23	W10K 8a	43.64634	9.862582	26/05/2023 14:00:00	26/05/2023 14:10:00	170	228
P23	W10K 8b	43.64574	9.862963	26/05/2023 14:31:00	26/05/2023 14:41:00	88	228
P23	W1K 55a	43.64595	9.979275	29/05/2023 12:45:00	29/05/2023 12:55:00	120	115
P23	W1K 55b	43.64525	9.978287	29/05/2023 13:19:00	29/05/2023 13:29:00	21	115
P23	W1K 8a	43.64454	9.977253	29/05/2023 13:02:00	29/05/2023 13:12:00	77	115
P23	W1K 8b	43.64395	9.976692	29/05/2023 13:40:00	29/05/2023 13:50:00	160	115
P23	E100 55b	43.64505	9.986467	28/05/2023 10:33:00	28/05/2023 10:43:00	7	110
P23	E100 8b	43.64559	9.990927	28/05/2023 13:40:00	28/05/2023 13:50:00	67	110
P23	E10K 45a	43.65897	10.11332	24/05/2023 12:25:00	24/05/2023 12:35:00	1900	48
P23	E10K 45b	43.65325	10.11224	24/05/2023 12:40:00	24/05/2023 12:50:00	1100	48
P23	E1K 55a	43.64356	9.999697	29/05/2023 09:45:00	29/05/2023 09:55:00	210	100
P23	E1K 55b	43.64434	10.00008	29/05/2023 10:17:00	29/05/2023 10:27:00	100	100
P23	N100 55b	43.64708	9.98886	28/05/2023 11:45:00	28/05/2023 11:55:00	270	110
P23	N100 8a	43.64668	9.9885	28/05/2023 13:11:00	28/05/2023 13:21:00	220	110
P23	N10K 55a	43.74158	9.998442	22/05/2023 10:25:00	22/05/2023 10:35:00	13000	86
P23	N10K 55b	43.73769	9.997183	22/05/2023 10:58:00	22/05/2023 11:08:00	13000	86
P23	N1K 55b	43.64497	9.991332	29/05/2023 11:53:00	29/05/2023 12:03:00	18	107
P23	N1K 8b	43.65389	9.989868	29/05/2023 12:12:00	29/05/2023 12:22:00	1200	107
P23	S100 55a	43.64298	9.987253	28/05/2023 09:17:00	28/05/2023 09:27:00	290	110
P23	S100 55b	43.64294	9.988332	28/05/2023 10:57:00	28/05/2023 11:07:00	300	110

P23	S10K 55b	43.55434	10.00934	27/05/2023 15:33:00	27/05/2023 15:43:00	12000	110
P23	S10K 8b	43.54678	9.993252	27/05/2023 15:51:00	27/05/2023 16:01:00	13000	110
P23	W100 55a	43.64559	9.987388	28/05/2023 09:40:00	28/05/2023 09:50:00	68	110
P23	W100 8a	43.64447	9.98567	28/05/2023 12:53:00	28/05/2023 13:03:00	86	110
P23	W10K 8a	43.64634	9.862582	26/05/2023 14:00:00	26/05/2023 14:10:00	170	228
P23	W10K 8b	43.64574	9.862963	26/05/2023 14:31:00	26/05/2023 14:41:00	88	228
P23	W1K 55b	43.64525	9.978287	29/05/2023 13:19:00	29/05/2023 13:29:00	21	115
P23	W1K 8b	43.64395	9.976692	29/05/2023 13:40:00	29/05/2023 13:50:00	160	115
E23	E100 55a	43.64127	9.991933	02/09/2023 11:25:00	02/09/2023 11:35:00	530	110
E23	E100 55b	43.64127	9.99165	02/09/2023 12:58:00	02/09/2023 13:08:00	530	110
E23	E100 8a	43.64397	9.99035	02/09/2023 11:40:00	02/09/2023 11:50:00	160	110
E23	E100 8b	43.64162	9.992117	02/09/2023 13:12:00	02/09/2023 13:22:00	480	110
E23	E10K 45a	43.64443	10.10743	09/09/2023 09:43:00	09/09/2023 09:53:00	92	48
E23	E10K 45b	43.64792	10.10827	09/09/2023 10:08:00	09/09/2023 10:18:00	390	48
E23	E10K 8a	43.64338	10.10447	09/09/2023 09:55:00	09/09/2023 10:05:00	240	48
E23	E10K 8b	43.6431	10.11448	09/09/2023 10:21:00	09/09/2023 10:31:00	270	48
E23	E1K 55a	43.64545	10.00083	02/09/2023 13:47:00	02/09/2023 13:57:00	48	100
E23	E1K 55b	43.64608	10.00323	02/09/2023 14:21:00	02/09/2023 14:31:00	140	100
E23	E1K 8a	43.64657	10.00608	02/09/2023 14:02:00	02/09/2023 14:12:00	200	100
E23	E1K 8b	43.64698	10.00842	02/09/2023 14:38:00	02/09/2023 14:48:00	260	100
E23	N100 55a	43.64577	9.988983	02/09/2023 09:15:00	02/09/2023 09:25:00	92	110
E23	N100 55b	43.64795	9.986067	02/09/2023 10:38:00	02/09/2023 10:48:00	390	110
E23	N100 8a	43.64805	9.987067	02/09/2023 09:31:00	02/09/2023 09:41:00	410	110
E23	N100 8b	43.64332	9.99175	02/09/2023 10:53:00	02/09/2023 11:03:00	250	110
E23	N10K 55a	43.73161	9.99199	09/09/2023 13:25:00	09/09/2023 13:35:00	12000	86
E23	N10K 55b	43.73412	9.990917	09/09/2023 13:56:00	09/09/2023 14:06:00	12000	86
E23	N10K 8a	43.73643	9.989417	09/09/2023 13:40:00	09/09/2023 13:50:00	13000	86
E23	N10K 8b	43.73015	9.996285	09/09/2023 14:09:00	09/09/2023 14:19:00	12000	86
E23	N1K 55a	43.65333	9.989417	02/09/2023 15:13:00	02/09/2023 15:23:00	1100	107
E23	N1K 55b	43.65143	9.9904	02/09/2023 15:44:00	02/09/2023 15:54:00	870	107
E23	N1K 8a	43.65372	9.98872	02/09/2023 15:28:00	02/09/2023 15:38:00	1200	107
E23	N1K 8b	43.65342	9.989765	02/09/2023 16:00:00	02/09/2023 16:10:00	1100	107
E23	S100 55a	43.64433	9.98995	04/09/2023 10:46:00	04/09/2023 10:56:00	110	110
E23	S100 55b	43.6434	9.987412	04/09/2023 12:15:00	04/09/2023 12:25:00	230	110
E23	S100 8a	43.6441	9.989333	04/09/2023 10:57:00	04/09/2023 11:07:00	140	110
E23	S100 8b	43.64393	9.984817	04/09/2023 12:34:00	04/09/2023 12:44:00	160	110
E23	S10K 55a	43.51947	9.99555	05/09/2023 11:17:00	05/09/2023 11:27:00	17000	110
E23	S10K 55b	43.55131	9.995483	05/09/2023 11:46:00	05/09/2023 11:56:00	13000	110
E23	S10K 8a	43.55125	9.992833	05/09/2023 11:30:00	05/09/2023 11:40:00	13000	110
E23	S10K 8b	43.54707	9.99027	05/09/2023 12:07:00	05/09/2023 12:17:00	13000	110
E23	S1K 55a	43.63523	9.98795	02/09/2023 12:18:00	02/09/2023 12:28:00	1400	110
E23	S1K 55b	43.63533	9.987683	02/09/2023 12:53:00	02/09/2023 13:03:00	1300	110
E23	S1K 8a	43.63563	9.987683	02/09/2023 12:40:00	02/09/2023 12:50:00	1300	110
E23	S1K 8b	43.63607	9.988267	02/09/2023 13:09:00	02/09/2023 13:19:00	1200	110
E23	W100 55a	43.64628	9.984322	04/09/2023 09:54:00	04/09/2023 10:04:00	160	110
E23	W100 55b	43.64768	9.985558	04/09/2023 11:21:00	04/09/2023 11:31:00	350	110

E23	W100 8a	43.64748	9.986833	04/09/2023 10:10:00	04/09/2023 10:20:00	330	110
E23	W100 8b	43.64745	9.9859	04/09/2023 11:36:00	04/09/2023 11:46:00	320	110
E23	W10K 55a	43.64319	9.856138	04/09/2023 15:42:00	04/09/2023 15:52:00	260	228
E23	W10K 55b	43.64849	9.859373	04/09/2023 16:14:00	04/09/2023 16:24:00	470	228
E23	W10K 8a	43.64595	9.857755	04/09/2023 15:57:00	04/09/2023 16:07:00	120	228
E23	W10K 8b	43.64771	9.861305	04/09/2023 16:31:00	04/09/2023 16:41:00	360	228
E23	W1K 55a	43.64521	9.980828	04/09/2023 13:44:00	04/09/2023 13:54:00	15	115
E23	W1K 55b	43.64316	9.981593	04/09/2023 14:16:00	04/09/2023 14:26:00	270	115
E23	W1K 8a	43.6445	9.979933	04/09/2023 13:59:00	04/09/2023 14:09:00	82	115
E23	W1K 8b	43.6442	9.977773	04/09/2023 14:37:00	04/09/2023 14:47:00	120	115
E23	E10K 45a	43.64443	10.10743	09/09/2023 09:43:00	09/09/2023 09:53:00	92	48
E23	E10K 45b	43.64792	10.10827	09/09/2023 10:08:00	09/09/2023 10:18:00	390	48
E23	E10K 8a	43.64338	10.10447	09/09/2023 09:55:00	09/09/2023 10:05:00	240	48
E23	E10K 8b	43.6431	10.11448	09/09/2023 10:21:00	09/09/2023 10:31:00	270	48
E23	N10K 55a	43.73161	9.99199	09/09/2023 13:25:00	09/09/2023 13:35:00	12000	86
E23	N10K 55b	43.73412	9.990917	09/09/2023 13:56:00	09/09/2023 14:06:00	12000	86
E23	N1K 55a	43.65333	9.989417	02/09/2023 15:13:00	02/09/2023 15:23:00	1100	107
E23	N1K 55b	43.65143	9.9904	02/09/2023 15:44:00	02/09/2023 15:54:00	870	107
E23	S100 55a	43.64433	9.98995	04/09/2023 10:46:00	04/09/2023 10:56:00	110	110
E23	S100 55b	43.6434	9.987412	04/09/2023 12:15:00	04/09/2023 12:25:00	230	110
E23	S100 8a	43.6441	9.989333	04/09/2023 10:57:00	04/09/2023 11:07:00	140	110
E23	S100 8b	43.64393	9.984817	04/09/2023 12:34:00	04/09/2023 12:44:00	160	110
E23	S10K 55a	43.51947	9.99555	05/09/2023 11:17:00	05/09/2023 11:27:00	17000	110
E23	S10K 55b	43.55131	9.995483	05/09/2023 11:46:00	05/09/2023 11:56:00	13000	110
E23	S10K 8a	43.55125	9.992833	05/09/2023 11:30:00	05/09/2023 11:40:00	13000	110
E23	S10K 8b	43.54707	9.99027	05/09/2023 12:07:00	05/09/2023 12:17:00	13000	110
E23	W100 55a	43.64628	9.984322	04/09/2023 09:54:00	04/09/2023 10:04:00	160	110
E23	W100 55b	43.64768	9.985558	04/09/2023 11:21:00	04/09/2023 11:31:00	350	110
E23	W10K 55a	43.64319	9.856138	04/09/2023 15:42:00	04/09/2023 15:52:00	260	228
E23	W10K 55b	43.64849	9.859373	04/09/2023 16:14:00	04/09/2023 16:24:00	470	228
E23	W1K 55a	43.64521	9.980828	04/09/2023 13:44:00	04/09/2023 13:54:00	15	115
E23	W1K 55b	43.64316	9.981593	04/09/2023 14:16:00	04/09/2023 14:26:00	270	115

Appendice E. Raggi di impatto massimi

E.1. Soglie Comportamentali

L _p non ponderato (dB re 1 μPa)	A22		I23		P23		E23	
	Dec-22		Mar-23		May-23		Sep-23	
	RMax (km) 10Hz-25kHz	RMax (km) 30Hz-25kHz						
170	-	-	-	-	-	-	-	-
160	0.1	0.1	-	-	-	-	-	-
150	0.5	0.5	0.1	0.1	0.1	0.1	-	-
140 ¹	2.0	1.9	0.3	0.3	0.4	0.4	0.2	0.2
130	10.1	10.1	1.4	1.3	1.7	1.7	0.6	0.6
120	76.4	76.4	7.7	7.7	5.0	5.0	1.6	1.6
110 ²	130.1	130.1	43.6	43.6	15.5	15.5	4.9	4.9
100 ³	141.4	141.4	133.6	133.6	106.8	104.7	10.1	10.1

1: soglia di eccedenza per il disturbo comportamentale dei cetacei di alta frequenza (secondo la nomenclatura definita in (Borsani and Farchi 2011))

2: soglia di eccedenza per il disturbo comportamentale dei cetacei di media frequenza (secondo la nomenclatura definita in (Borsani and Farchi 2011)) e per i pinnipedi focidi in acqua

3: soglia inferiore di eccedenza per il disturbo comportamentale dei cetacei di bassa frequenza (secondo la nomenclatura definita in (Borsani and Farchi 2011))

Appendice F. TTS & PTS

TTS e PTS non sono disturbi ammessi dalla normativa italiana. La Direttiva Habitat (Direttiva 92/43/CEE DEL CONSIGLIO del 21 maggio 1992 recepita tramite il Regolamento D.P.R. 8 settembre 1997 n. 357) stabilisce il divieto a perturbare deliberatamente le specie come i cetacei inseriti nell'Allegato IV – Specie animali e vegetali di interesse comunitario che richiedono una protezione rigorosa (articolo 12.1). Di conseguenza incrementi di rumore sottomarino che determinino il raggiungimento di livelli tali da causare TTS o PTS non possono essere accettati e i livelli a cui è necessario fare riferimento sono quelli di disturbo comportamentale.

Appendice G. Effetti sulla propagazione del suono nell'ambiente marino

Un fattore chiave nello studio del suono subacqueo è come un segnale acustico cambia in natura mentre si propaga dalla sorgente a un ricevitore a una certa distanza. Comprendere e modellizzare la propagazione del suono nell'oceano è un argomento complesso che è oggetto di numerosi testi. Questa sezione fornisce una panoramica descrittiva dei concetti essenziali di propagazione del suono per assistere con i risultati presentati in questo rapporto. Questi concetti sono parte integrante dell'interpretazione del modo in cui i suoni emessi da una sorgente vengono trasformati in quelli ricevuti a una certa distanza. I suoni vengono modificati da: 1) la diffusione geometrica; 2) la riflessione, la dispersione e l'assorbimento al fondale e alla superficie del mare; 3) la rifrazione dovuta alle variazioni della velocità del suono con la profondità; e 4) l'assorbimento dovuto alla vibrazione molecolare. Questa sezione non affronta il punto 3), poiché la rifrazione del suono svolge solo un ruolo minore in acque poco profonde.

Ad un estremo, i clic di eco-localizzazione delle focene a 130 kHz percorrono solo 500 m prima di diventare impercettibili (Au et al. 1999). All'altro estremo, i suoni delle balenottere comuni (20 Hz) e l'energia a bassa frequenza dei cannoni ad aria compressa per esplorazioni sismiche (5–100 Hz) possono essere rilevati a migliaia di km di distanza in condizioni ottimali (Nieukirk et al. 2012).

Perdite per diffusione geometrica: i livelli sonori da una sorgente puntiforme omnidirezionale nella colonna d'acqua vengono ridotti con la distanza, un processo noto come perdita per diffusione geometrica. Quando il suono lascia la sorgente, le onde sonore si propagano sfericamente e l'energia sonora si diffonde su questa sfera in continua espansione. Più si è lontani dalla sorgente, più basso sarà il livello sonoro ricevuto. I livelli di pressione sonora ricevuti a una distanza R (in m) dalla sorgente sono $20 \log_{10} R$ dB inferiori al livello di sorgente (SL) riferito a una distanza standard di 1 m. Ma in un ambiente reale il suono non può diffondersi uniformemente in tutte le direzioni in modo illimitato. Una volta che le onde interagiscono con la superficie e il fondale marino, la diffusione diventa cilindrica anziché sferica ed è limitata ad un fronte d'onda cilindrico limitato dalla superficie e dal fondale marino con una perdita che può ridursi a $10 \log_{10} R$ dB. Pertanto, la profondità dell'acqua è un fattore chiave nella previsione delle perdite per diffusione geometrica e quindi dei livelli sonori ricevuti. I menzionati regimi di diffusione sferico e cilindrico costituiscono limiti per approssimazioni rapide dei livelli ricevuti in un certo ambiente da una data fonte sonora. In acque molto basse, il suono si attenua rapidamente se la profondità dell'acqua è inferiore a un quarto di lunghezza d'onda (Urick 1983).

Assorbimento, riflessione e dispersione alla superficie e al fondale marino: se la diffusione geometrica fosse l'unico fattore che regola l'attenuazione del suono in acqua, allora a una particolare distanza da una sorgente i livelli sonori ricevuti in acque poco profonde sarebbero quasi sempre superiori a quelli in acque profonde. Nel primo caso, tuttavia, il suono subisce interazioni più frequenti con il fondale e la superficie del mare rispetto al suono che si propaga in acque profonde; queste interazioni risultano in riflessione, assorbimento e dispersione dei suoni. La superficie si comporta approssimativamente come un limite di rilascio della pressione, dove il suono incidente è quasi interamente riflesso con fase opposta. Di conseguenza, la somma delle onde sonore incidenti e riflesse alla superficie del mare è nominalmente zero. Sul fondale marino possono verificarsi molti tipi di interazioni a seconda della composizione del medesimo. I fondi soffici di limo e argilla assorbono il suono, i fondi di sabbia e ghiaia tendono a rifletterlo parzialmente e alcuni fondi compatti ma elastici, come il calcare, riflettono parte del suono ma altresì assorbono parte dell'energia convertendo le onde di compressione in onde elastiche trasversali.

Assorbimento molecolare nell'acqua di mare: quando il suono si propaga nell'oceano, parte dell'energia viene assorbita dalla vibrazione molecolare nell'acqua di mare, che trasforma l'energia acustica in calore. Il livello di attenuazione è quantificato da un coefficiente di assorbimento, espresso in unità di decibel per chilometro (dB/km). Questo coefficiente dipende dalla temperatura, dalla

salinità, dal pH e dalla pressione dell'acqua, nonché dalla frequenza del suono. In generale, il coefficiente di assorbimento aumenta con il quadrato della frequenza, quindi le basse frequenze sono molto meno influenzate. L'assorbimento dell'energia delle onde acustiche ha un effetto apprezzabile (>0.05 dB/km) a frequenze superiori a 1 kHz. Ad esempio, a 10 kHz la perdita da assorbimento molecolare su una distanza di 10 km, calcolata secondo le formule di François e Garrison (1982a, b), può superare i 10 dB.